



# Abordagem Baseada em Risco Aplicada a Estudos de Casos na Indústria Química.

Luiz Filipe Izaú de Souza

## Projeto de Engenharia Química

Orientadores

Carlos André Vaz Jr., *D.Sc*

Fevereiro de 2020

# **GESTÃO DE MUDANÇAS E PROCEDIMENTOS NA SEGURANÇA DE PROCESSOS**

***Luiz Filipe Izaú de Souza***

Projeto de engenharia química submetido ao Corpo de Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

---

Estevão Freire, D.Sc

---

Kese Pontes Freitas Alberton, D.Sc

---

Natália Rodrigues, Eng. Seg. Trab.

Orientado por:

---

Carlos André Vaz Jr., D.Sc

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Fevereiro de 2020

Izaú de Souza, Luiz Filipe.

Gestão de mudanças e procedimentos na segurança de processos / Luiz Filipe Izaú de Souza. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ. 2020

xv, 93 p.,; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2020.

Orientadores: Carlos André Vaz Jr.

1. Segurança de Processo. 2. Indústria Química. 3. Riscos. 4. Monografia (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Carlos André Vaz Jr. I. Gestão de Mudanças e Procedimentos na Segurança de Processos

“Aquilo que pode ser afirmado sem evidências, pode ser igualmente  
descartado sem evidências.”

Christopher Hitchens

## **AGRADECIMENTOS**

À minha Mãe, que sempre zelou por mim e a quem devo muito do que sou hoje.

Ao meu Pai, por todo suporte durante toda minha vida.

Ao meu Irmão, por todo o carinho e companheirismo.

À toda minha família, por essa conquista.

Aos meus colegas do grupo EQN 100Lei, companheiros nas aprovações e reprovações.

Aos meus queridos amigos do grupo “Não coma o ganso”: Thaís, Ana, Luca, Iza, Fernanda e Fernando. Sem o constante apoio de vocês, este trabalho não seria possível.

À Camilla Torres, pelo incentivo e por me mostrar diariamente que devemos sempre sonhar alto e não desistir frente as adversidades.

Ao professor Carlos André Vaz Jr. pela gentileza, paciência e orientação durante o trabalho.

A todos os professores, secretários, auxiliares, faxineiros, bibliotecários, serventes, vigias, funcionários da Escola de Química e da UFRJ que através do seu trabalho permitem o funcionamento da nossa universidade.

Aos meus amigos ao redor do mundo, que enriquecem diariamente a minha jornada na vida.

A esse grande, maravilhoso e misterioso Universo que de sua sopa atômica concebeu a vida e tudo mais.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

## **GESTÃO DE MUDANÇAS E PROCEDIMENTOS NA SEGURANÇA DE PROCESSOS**

Luiz Filipe Izaú de Souza

Fevereiro, 2020

Orientadores: Prof. Carlos André Vaz Jr.

A indústria química representa um enorme setor econômico da economia global, movimentando anualmente bilhões de dólares e empregando centenas de milhares de pessoas. Graças ao aquecimento da economia global, espera-se nos próximos anos um impulsionamento das atividades produtivas do setor. Todavia, com o aumento da pressão por resultados e da complexidade da indústria crescem também os riscos de grandes acidentes. Frente a esse cenário e com a progressiva intolerância da sociedade civil para com eventos que afetem negativamente a vida humana e o meio-ambiente, faz-se extremamente necessário o desenvolvimento de sistemas de gestão que garantam a segurança das operações. Com este objetivo em mente, o presente trabalho visa apresentar o Sistema de Gestão de Segurança de Processo Baseada em Risco (RBPS) e aplicá-lo no estudo de caso de três acidentes industriais: (i) a explosão de uma refinaria de açúcar da ISC em Port Wentworth em 2007; (ii) a explosão de uma câmara de esterilização da Sterigenics em Ontario em 2004; e (iii) o incêndio ocorrido na planta da Arkema em 2017. Busca-se entender os fatores contribuintes e as falhas que culminaram nos acidentes e como a implantação do RBPS poderia ter elevado o padrão de segurança dessas instalações. Conclui-se que para os casos estudados, as diretrizes expostas nos elementos que compõem a estratégia RBPS poderiam ter ajudado na prevenção dos desastres, uma vez que as falhas encontradas teriam sido endereçadas, diminuindo assim a chance de ocorrência dos acidentes.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACC – *American Chemistry Council*  
AIChE – *American Institute of Chemical Engineers*  
ANAC – Agência Nacional da Aviação Civil  
ANP – Agência Nacional de Petróleo  
ANSI – *American National Standards Institute*  
BSI – *British Standards Institution*  
CAA – *Clean Air Act*  
CASA – *Civil Aviation Safety Authority*  
CCPS – *Center for Chemical Process Safety*  
CEFIC – *The European Chemical Industry Council*  
CEO – *Chief Executive Officer*  
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CIP – Camadas Independentes de Proteção  
cm – Centímetro  
CO – Condução de Operações  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono  
CSB – *Chemical Safety Board*  
DNA – Ácido Desoxirribonucleico  
DO – Disciplina operacional  
ENIT – Escola Nacional de Inspeção ao Trabalho  
EPA – *Environmental Protection Agency*  
EUA – Estados Unidos da América  
FAA – *Federal Aviation Administration*  
FEMA – *Federal Emergency Management Agency*  
g – Grama  
HCFC – Hidroclorofluorocarbonos  
HIRA – *Hazard Identification and Risk Analysis*  
HSC – *Health and Safety Commission*  
HSE – *Health and Safety Executive*  
ICAO – *International Civil Aviation Organization*

ICCA – *International Council of Chemical Associations*  
ISC – *Imperial Sugar Company*  
Kg – Quilograma  
LEL – *Lower Explosive Limit*  
LOPA – *Layer of Protection Analysis*  
LTW – *Low Temperature Warehouse*  
m<sup>2</sup> – Metro Quadrado  
m<sup>3</sup> – Metro Cúbico  
MEC – *Minimum explosive concentration*  
MOC – *Management of Change*  
N<sub>2</sub> – Nitrogênio  
NASA – *National Aeronautics and Space Administration*  
NFPA – *National Fire Protection Association*  
NHC – *National Hurricane Center*  
NIMS – *National Incident Management System*  
NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health*  
NR – Normas Regulamentadoras  
OE – Óxido de Etileno  
ONU – Organização das Nações Unidas  
OSHA – *Occupational Safety and Health Administration*  
PDCA – *Plan-Do-Check-Act*  
PFL – *Positive Feedback Loop*  
PHA – *Process Hazard Analysis*  
PIB – Produto interno Bruto  
PO – Peróxidos orgânicos  
ppm – Partes por milhão  
RBPS – *Risk Based Process Safety*  
RMP – *Risk Management Plan*  
SADT – *Self-Accelerating Decomposition Temperature*  
SGS – Sistemas de Gestão de Segurança  
SGSO – Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional  
SMS – *Safety Management System*  
UCLA – *University of California, Los Angeles*  
UE – União Europeia



°C – Grau Celsius

µm – Micrometro

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução das estratégias de Gestão de Segurança de Processos (Adaptado de AIChE/CCPS, 2007) .....	8
Figura 2. Elementos da Segurança de Processo Baseada em Risco (Adaptado de <i>Diretrizes para Segurança de Processo Baseada em Risco</i> , AIChE/CCPS, 2007). 10	
Figura 3. Fluxograma de gerenciamento de risco da ANAC (Extraído de SGSO na Prática, 2019). ....	19
Figura 4. Planilha para o cálculo de LOPA (Adaptado de MARLIN, 2013).....	21
Figura 5. Modelo do “Queijo Suíço” (Extraído de REASON, 1997). ....	22
Figura 6. Definição gráfica do ALARP. (Extraído de <i>Plant Hazard Analysis and Safety Instrumentation Systems</i> , 2017).....	24
Figura 7. Representação ilustrativa do ALARP (Extraído de <i>Marine Structural Design</i> , 2016) .....	24
Figura 8. Representacao da Técnica PDCA (Extraído de <i>RMP Consultancy</i> , 2013) .....	40
Figura 9. Ciclo PDCA aplicado a Seguranca de Processos (Adaptado de EHS, 2017) .....	40
News, 2017) .....	40
Figura 10. Estrutura genérica dos peróxidos orgânicos (Extraído de UCLA, 2017). ....	42
Figura 11. Positive Feedback Loop (Adaptado de ZUCKERMAN & JEFFERSON, 1996). ....	43
Figura 12. Localização do condado de Crosby (Extraído de Google Maps, 2019)..	45
Figura 13. Imagem da instalação Crosby. A numeração em laranja indica a localização dos geradores enquanto a em azul mostra a dos LTW's (Extraído de CSB, 2017).....	46
Figura 14. Zona de evacuação em torno da planta Arkema Crosby (Extraído de <i>Deutsche Welle</i> , 2017). ....	47

Figura 15. Coluna de fumaca proveniente do incêndio na planta Arkema. (Extraído de <i>Chemical &amp; Engineering News</i> , 2017).....	47
Figura 16. Prédio administrativo da ICS ao lado dos 3 silos usados para armazenar açúcar granulado (Extraído de <i>City Seeker</i> , 2007).....	51
Figura 17. Esteiras transportadoras de açúcar cobertas com o produto (Extraído de CSB, 2009).....	52
Figura 18. Explosão controlada de poeira (Extraído de <i>Scientific Gems</i> , 2014).....	53
Figura 19. Mecanismo de ocorrência de explosões secundárias de poeira combustível (Extraído de <i>Fluidization, Solids Handling, and Processing</i> , 1999).....	54
Figura 20. Pentágono da explosão de poeira (Extraído de <i>Robovent</i> , 2020).....	55
Figura 21. Sistema de transporte de açúcar dos silos. (Extraído de CSB, 2009)....	55
Figura 22. Revestimento de aço instalado sobre a esteira transportadora. (Extraído de USCSB, 2009).....	56
Figura 23. Açúcar derramando da esteira transportadora (Extraído de USCSB, 2016). .....	57
Figura 24. Prédio de empacotamento completamente tomado pelas chamas (Extraído de <i>New York Daily News</i> , 2008). .....	57
Figura 25. Instalação da ICS, 10 dias após o acidente (Extraído de CSB, 2009). ..	58
Figura 26. Estrutura química do Óxido de Etileno (Extraído de Wikiwand, 2019). ..	62
Figura 27. Ciclo de esterilização adotado na Sterigenics Ontario (Adaptado de CSB, 2004). .....	64
Figura 28. Explosão da câmara de esterilização 7 (Adaptado de CSB, 2006).....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Conceitos de Segurança de processo (Adaptado de CETESB, 2011) .....	6
Tabela 2. Técnicas de análise e avaliação de riscos. (Adaptado de ATO SMS Manual, 2019) .....	16
Tabela 3. Matriz de Compatibilidade de Risco. (Adaptado de <i>ATO SMS Manual</i> , 2019) .....	17
Tabela 4. Frequência de ocorrência de evento. (Adaptado de NOLAN, 2008) .....	18
Tabela 5. Análise de severidade. (Adaptado de CETESB, 2011) .....	18
Tabela 6. Frequência de ocorrência de falha. (adaptado de MARLIN, 2013) .....	20
Tabela 7. Probabilidade de falha das CIP's (Extraído de MARLIN, 2013) .....	21
Tabela 8. Técnicas para Análise de Risco divididas por finalidade. (Adaptado de AIChE/CCPS, 2008) .....	22
Tabela 9. Temperaturas de meia-vida de peróxidos Orgânicos. (Adaptado de <i>The Society of the Plastics Industry</i> , 2018) .....	44

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Checklist para avaliação da efetividade do treinamento em Segurança Operacional (Extraído de ANAC, 2019) .....	30
--	----

# SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE QUADROS .....	xii
1. Introdução .....	1
1.1. Objetivo geral .....	2
1.2. Objetivos específicos .....	2
1.3. Metodologia.....	2
1.4. Justificativa.....	2
1.5. Estrutura do trabalho.....	4
2. Revisão bibliográfica .....	5
2.1. Conceitos básicos de segurança de processos .....	5
2.2. Abordagens de gestão de Segurança de Processos .....	7
2.2.1. Abordagem Baseada em Padrões .....	8
2.2.2. Abordagem Baseada na Conformidade .....	8
2.2.3. Abordagem Baseada em Melhoria Contínua .....	9
2.3. Abordagem CCPS para Segurança de Processos Baseada em Risco.....	9
2.3.1. Primeiro Pilar: Comprometimento com a Segurança de Processos .....	10
2.3.1.1 Cultura de Segurança de Processos .....	11
2.3.1.2. Conformidade com Padrões e Normas.....	12
2.3.1.3. Competência em Segurança de Processos.....	12
2.3.1.4. Participação da Força de Trabalho.....	13
2.3.1.5. Abrangência às Partes Interessadas .....	13
2.3.2. Segundo Pilar: Noção dos Riscos e Perigos .....	14
2.3.2.1. Gestão do Conhecimento do Processo .....	14

2.3.2.2. Identificação dos Perigos e Análise de Riscos .....	15
2.3.3. Terceiro Pilar: Gestão de Risco .....	22
2.3.3.1. Procedimentos Operacionais.....	25
2.3.3.2. Práticas de Trabalho Seguro .....	25
2.3.3.3. Integridade de Ativos e Confiabilidade .....	26
2.3.3.4. Gestão de Contratadas.....	27
2.3.3.5. Garantia de Treinamento e Competência .....	28
2.3.3.6. Gestão de Mudança .....	31
2.3.3.7. Prontidão Operacional .....	31
2.3.3.8. Realização das Operações.....	32
2.3.3.9. Gestão de Emergências .....	33
2.3.4. Quarto Pilar: Aprendizado com a Experiência .....	35
2.3.4.1. Investigação de Acidentes .....	36
2.3.4.2. Auditorias.....	37
2.3.4.3. Medição e Métricas.....	38
2.3.4.4. Análise de Gestão de Melhoria Contínua .....	39
2.4. Considerações Finais.....	41
3. Arkema Inc. Chemical Plant Fire. ....	42
3.1. Introdução .....	42
3.2. Descrição do acidente.....	44
3.3. Considerações .....	48
3.3.1. Falhas no elemento “Competência em Segurança de Processos” .....	48
3.3.2. Falhas no elemento “Identificação de Perigos e Análise de Risco” .....	48
3.3.3. Falhas no elemento “Gestão de Emergências” .....	49
4. Imperial Sugar Company Dust Explosion and Fire .....	51
4.1. Introdução .....	51
4.2. Descrição do acidente.....	55

4.3. Considerações .....	58
4.3.1. Falhas no elemento “Garantia de Treinamento de Competência” .....	59
4.3.2. Falhas no elemento “Integridade de Ativos e Confiabilidade” .....	59
4.3.3. Falhas no elemento “Cultura de Segurança de Processos” .....	60
4.3.4. Falhas no elemento “Gestão de Mudanças” .....	60
4.3.5. Falhas no elemento “Realização das Operações” .....	60
4.3.6. Falhas no elemento “Investigação de acidentes” .....	61
5. Sterigenics Ethylene Oxide Explosion .....	62
5.1. Introdução .....	62
5.2. Esterilização com Óxido de Etileno .....	63
5.3. Descrição do acidente .....	64
5.4. Considerações .....	66
5.4.1. Falhas no elemento “Garantia de Treinamento de Competência” .....	66
5.4.2. Falhas no elemento “Conformidade com Padrões e Normas” .....	66
5.4.3. Falhas no elemento “Identificação de Perigos e Análise de Risco” .....	67
5.4.4. Falhas no elemento “Investigação de Acidentes” .....	67
6. Conclusão .....	68
Referências .....	69



## 1. Introdução

Segundo o relatório elaborado pela *International Council of Chemical Associations* (ICCA) a indústria química atua em virtualmente todos os setores produtivos da atualidade, contribuindo de forma direta e indireta, com aproximadamente US\$ 5,7 trilhões para a economia mundial e gerando 120 milhões de empregos em todo o mundo (OXFORD ECONOMICS, 2019). Calvin M. Dooley, presidente e CEO do Conselho de Química Americano (*American Chemical Council* - ACC) declarou ao Conselho Europeu da Indústria Química (CEFIC) que:

As inovações desenvolvidas e produzidas pela contínua presença da indústria química em todo o mundo mudaram o curso da humanidade. Com o tempo, os fabricantes de produtos químicos tornaram-se parte integrante da economia global e um facilitador crítico de tecnologias que melhoram a vida das pessoas ao redor do mundo. (CEFIC, 2019)

Com a retomada do crescimento econômico da China e dos EUA, espera-se maior produtividade do setor com a abertura de novas plantas industriais (BLOOMBERG, 2019). Entretanto, com a expansão das atividades, da pressão por resultados e da complexidade da indústria moderna, a segurança operacional pode, eventualmente ser negligenciada, elevando o risco de acidentes (VAUGHEN & KLETZ, 2012). Além dos enormes prejuízos financeiros e materiais para a empresa, tais eventos podem levar a perdas de vidas humanas e afetar permanentemente a comunidade e o meio-ambiente.

À vista disso e com a crescente intolerância da sociedade civil com eventos que afetem sua qualidade de vida, foi necessário a elaboração de algumas ferramentas, denominadas Sistemas de Gerenciamento de Segurança (SGS), cuja implementação ajuda a garantir a segurança das operações.

Sistemas de gerenciamento de segurança são abordagens metodológicas estratégicas usadas para identificar perigos e riscos associados aos processos desempenhados em instalações industriais. Através deles, busca-se reconhecer situações e cenários perigosos e agir proativamente para a eliminação de circunstâncias potencialmente desastrosas.

### **1.1. Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da metodologia Segurança de Processos Baseada em Risco (RBPS) como sistema de gerenciamento de segurança (SGS). Busca-se demonstrar a robustez e versatilidade desta abordagem, e como uma implementação correta de suas diretrizes é capaz de auxiliar no desenvolvimento e gestão de rotinas industriais mais seguras.

### **1.2. Objetivos específicos**

Constituem os objetivos específicos desta análise:

- i. Descrever as estratégias usadas na elaboração de modelos de gestão de segurança operacional;
- ii. Avaliar as falhas nos procedimentos adotados em três plantas industriais onde ocorreram acidentes graves;
- iii. Demonstrar como a abordagem RBPS representa uma alternativa confiável para o desenvolvimento de procedimentos de segurança de processos eficientes.

### **1.3. Metodologia**

Para a elaboração deste trabalho foram realizados estudos de caso de três acidentes industriais ocorridos em plantas químicas nos Estados Unidos (EUA): (i) a explosão de uma refinaria de açúcar da ISC em Port Wentworth em 2007; (ii) a explosão de uma câmara de esterilização da Sterigenics em Ontario em 2004; e (iii) o incêndio ocorrido na planta da Arkema em 2017. Estes acidentes foram escolhidos visando a aplicação da estratégia em instalações com diferentes escalas e áreas de atuação. A metodologia consiste em avaliar, com base nas diretrizes da gestão da Segurança de Processo Baseada em Risco (RBPS) (AIChE/CCPS, 2007), as causas raízes e os fatores contribuintes que, em conjunto, culminaram nos acidentes supracitados.

### **1.4. Justificativa**

Sistemas de gerenciamento de segurança (SGS) são utilizados para gerenciar todos os aspectos de segurança de uma organização. Eles fornecem uma

maneira sistemática de gerenciar os riscos, garantindo que esses controles sejam efetivos.

Nas últimas décadas, novas leis exigindo o uso de sistemas formais de gerenciamento de segurança de processos na União Europeia (UE) e nos EUA levaram à criação e implementação generalizada de diversas metodologias e modelos de SGS. A adoção e disseminação desses sistemas foi responsável pela diminuição da frequência e severidade de acidentes industriais (AIChE/CCPS, 2007) criando, dessa forma, melhorias no desempenho do setor de processos e na qualidade de vida dos funcionários.

Observa-se, no entanto, que o aperfeiçoamento dos modelos de SGS parece ter estagnado em muitas organizações. Investigações e auditorias frequentemente identificam o desempenho insatisfatório do sistema de gestão aplicado como um dos contribuintes para ocorrência de acidentes (AIChE/CCPS, 2007). Descobrem-se problemas crônicos cujos sintomas são repetidamente corrigidos sem abordar de maneira eficaz as causas-raízes por eles responsáveis.

Segundo a *Federal Aviation Administration* (FAA) (2015) para ser eficiente um SGS precisa ser capaz de endereçar de forma satisfatória à seis importantes elementos:

- I. Definir como a organização é preparada para gerenciar os riscos operacionais;
- II. Identificar as possíveis vulnerabilidades;
- III. Planejar ações para amenizar ou eliminar as vulnerabilidades identificadas;
- IV. Implementar uma comunicação efetiva em todos os níveis da organização;
- V. Implementar um processo para identificar e corrigir todas as não-conformidades;
- VI. Implementar um processo de melhoria contínua.

Caso não sejam propriamente endereçados, a negligência com os elementos supracitados pode fazer mais do que causar estagnação; ela pode deixar as empresas vulneráveis à perda de foco na segurança do processo, resultando em um

sério declínio no desempenho e aumentando dessa forma a frequência e severidade de acidentes.

### **1.5. Estrutura do trabalho**

O capítulo 2 concentra-se na fundamentação teórica relativa aos conceitos básicos que são fundamentais para o entendimento do tema tratado. São apresentados os conceitos básicos da segurança de processos, assim como algumas das técnicas usadas para gestão de segurança de processos.

Nos capítulos 3, 4 e 5 são descritos os três acidentes industriais que serviram como objeto de estudo deste trabalho. Através de uma descrição precisa dos acontecimentos e circunstâncias da época, busca-se compreender melhor a sequência de eventos e decisões que culminaram nos desastres, assim como suas consequências para a comunidade e a indústria.

No capítulo 6 são mostrados as conclusões e os resultados do trabalho. É explicado como a adoção de um sistema de gestão de RBPS funciona como uma abordagem de gestão eficiente para o gerenciamento dos recursos de uma organização, assim como na elaboração de procedimentos e rotinas operacionais mais confiáveis e seguras.

Por fim serão listadas as referências bibliográficas utilizadas para este trabalho.

## **2. Revisão bibliográfica**

Criada no início do século XIX nas fábricas de pólvora da DuPont, a Segurança de Processo é a disciplina responsável pelo gerenciamento da integridade de sistemas operacionais e processos que manipulam substâncias perigosas, através da aplicação de bons princípios de projeto, engenharia, métricas e práticas operacionais (AIChE/CCPS, 2019).

A Segurança de Processos é uma parte indispensável da rotina de qualquer planta industrial, pois acidentes industriais podem resultar na liberação de produtos tóxicos e causar incêndios ou explosões, que causam perdas à vida humana, à propriedade e ao meio ambiente. Dessa forma se falhas no sistema de gestão de segurança não forem propriamente endereçadas e tratadas, elas podem colocar em risco toda a integridade da companhia e da comunidade em volta da operação.

De acordo com a norma técnica CETESB P4.261 (2011):

No Brasil os grandes acidentes de origem tecnológica envolvendo substâncias químicas, ocorridos nas décadas de 70 e 80, motivaram os órgãos governamentais a promover diversos programas para o gerenciamento de riscos impostos por atividades industriais.

Assim, as técnicas para a identificação de perigos e estimativa dos efeitos no homem e no meio ambiente, decorrentes de incêndios, explosões e liberações de substâncias tóxicas, já amplamente utilizadas nas áreas aeronáutica, militar e espacial, foram gradativamente adaptadas e aperfeiçoadas e passaram a ser incorporadas como “ferramentas” para o gerenciamento de riscos em atividades industriais, em particular nas indústrias química e petroquímica.

### **2.1. Conceitos básicos de segurança de processos**

Para um entendimento pleno das diferentes metodologias e abordagens apresentadas, faz-se necessário definir os conceitos fundamentais no estudo da Segurança de Processos que foram utilizadas no presente trabalho.

Foram consideradas as definições contidas na norma técnica CETESB P4.261 (2011), conforme tabela 1.

**Tabela 1. Conceitos de Segurança de processo (Adaptado de CETESB, 2011)**

<b>Conceitos</b>	<b>Definição</b>
Acidente	Evento específico não planejado e indesejável, ou uma sequência de eventos que geram consequências indesejáveis.
Avaliação de risco	Processo pelo qual os resultados da estimativa de risco são utilizados para a tomada de decisão, por meio de critérios comparativos de risco, visando à definição da estratégia de gerenciamento do risco.
Empreendimento	Conjunto organizado de recursos humanos, materiais e financeiros, com vista a exercer uma atividade que produz e oferece bens e/ou serviços, com o objetivo de atender a alguma necessidade humana.
Explosão	Processo onde ocorre uma rápida e violenta liberação de energia, associado a uma expansão de gases acarretando o aumento da pressão acima da pressão atmosférica.
Frequência	Número de ocorrências de um evento por unidade de tempo.
Gerenciamento de risco	Processo de controle de risco compreendendo a formulação e a implantação de medidas e procedimentos técnicos e administrativos que têm por objetivo prevenir, reduzir e controlar o risco, bem como manter uma instalação operando dentro de padrões de segurança considerados toleráveis ao longo de sua vida útil.
Incêndio	Tipo de reação química na qual os vapores de uma substância inflamável se combinam com o oxigênio do ar atmosférico e uma fonte de ignição, causando liberação de calor.
Instalação	Conjunto de equipamentos e sistemas que permite o processamento, armazenamento e transporte de insumos, matérias-primas ou produtos.
Perigo	Uma ou mais condições físicas ou químicas com potencial para causar danos às pessoas, à propriedade e ao meio ambiente.
Planta	Setor dentro de um empreendimento que produz algum produto específico. Para fins desta norma, uma planta é composta por duas ou mais instalações.

Os termos “risco” e “incidente” serão definidos neste trabalho conforme as descrições contidas na Norma técnica ABNT NBR ISO 31000:2009 e na Resolução ANP nº 44/2009. Considerou-se que as definições propostas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para estes termos são mais abrangentes e em maior alinhamento com o desenvolvimento do trabalho.

A Resolução ANP nº 44/2009 dita que um incidente:

É qualquer ocorrência, decorrente de fato ou ato intencional ou acidental, envolvendo; risco de dano ao meio ambiente ou à saúde humana; dano ao meio ambiente ou à saúde humana; prejuízos materiais ao patrimônio; ocorrência de fatalidades ou ferimentos graves; ou interrupção não programada das operações por mais de 24 (vinte e quatro) horas (ANP, 2009).

Em outras palavras, um incidente é qualquer evento inesperado que possa potencialmente impactar negativamente a empresa, o meio ambiente ou a saúde humana. Quando um incidente efetivamente causa perdas ele passa a ser classificado como um acidente, caso contrário, como um quase-acidente (ANP, 2009).

Ainda de acordo com a Resolução ANP nº 44/2009, entende-se o risco como uma medida da frequência de ocorrência de um evento indesejado e de sua severidade. Contudo, somente essa definição não é ampla o suficiente para os fins deste trabalho, de forma que a definição da Norma técnica ABNT NBR ISO 31000:2009 também será considerada. Ela determina que dependendo dos objetivos e da metodologia utilizada no gerenciamento da segurança, o risco deve ser expresso como uma combinação de consequências de um evento e a frequência de ocorrência associada (ABNT, 2009).

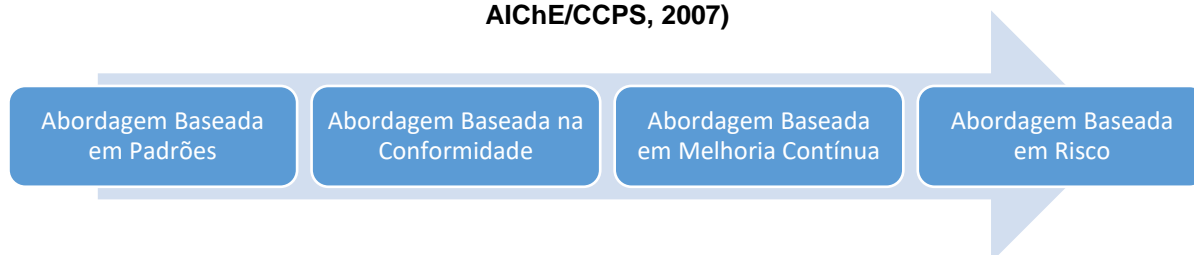
Segundo a Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC) (2019F), se após avaliação um determinado risco não atingir os padrões de aceitabilidade, deve-se buscar soluções para reduzi-lo a um patamar tolerável aceitável, usando os procedimentos cabíveis de mitigação e prevenção.

## **2.2. Abordagens de gestão de Segurança de Processos**

Desde a sua concepção nas fábricas da DuPont até os dias de hoje, diversas estratégias visando uma gestão eficiente de segurança de processos foram desenvolvidas pela indústria. Contudo, seus esforços foram por muitos anos direcionados somente para o desenvolvimento de tecnologias mais confiáveis. Foi somente após uma série de acidentes industriais catastróficos na década de 80, que a ausência de modelos de gestão de segurança foi apontada como um fator

determinante para a ocorrência dos desastres. Historicamente foram concebidas quatro estratégias de gestão que endereçam essa deficiência (AIChE/CCPS, 2007). A evolução cronológica dessas abordagens é mostrada na figura 1.

**Figura 1. Evolução das estratégias de Gestão de Segurança de Processos (Adaptado de AIChE/CCPS, 2007)**



### **2.2.1. Abordagem Baseada em Padrões**

Esta abordagem baseava-se nas experiências e no entendimento advindo de acidentes passados. Esse conhecimento era consolidado como normativas próprias e específicas de cada empresa, ou como manuais padrões de segurança criados por instituições governamentais e outras entidades, tais como o Instituto Nacional Americano de Padrões (*American National Standards Institute* - ANSI) e o Instituto Britânico de Padrões (*British Standards Institution* – BSI).

No entanto, a adoção de um sistema baseado somente em padrões pode levar a uma gestão de segurança estagnada e conformada, visto que falhas específicas e recém descobertas raramente são consideradas em padrões. Adicionalmente, acidentes relacionados à segurança de processos são eventos raros e únicos, de forma que somente o estudo do passado raramente fornece informações o bastante para que se previnam acidentes futuros (AIChE/CCPS, 2007).

### **2.2.2. Abordagem Baseada na Conformidade**

Órgãos governamentais receosos com as consequências desastrosas de possíveis acidentes na indústria química, passaram a criar normas e leis que previssem ações voltadas para a prevenção de acidentes. Por serem, em sua maioria, não prescritivas, estas normas permitem que as empresas se adaptem facilmente ao dinamismo industrial, modificando seus sistemas de segurança conforme as peculiaridades de seus processos e atualizações tecnológicas. Por exemplo, a norma OSHA 3132 dita que as empresas tenham um sistema de



Gerenciamento de Segurança de Processo (*Process Safety Management* – PSM). A EPA<sup>1</sup>, por sua vez exige, através da norma RMP Rule, a implementação da seção 112 (r) da Lei do Ar Limpo de 1990. Esta norma determina que instalações que lidem com substâncias perigosas desenvolvam um Plano de Gerenciamento de Riscos que deve ser revisado e enviado à EPA a cada cinco anos.

Conforme o AIChE/CCPS (2007), basear-se somente nas normas públicas de Gestão de Segurança de Processos, não constitui uma estratégia de gestão de segurança eficiente. Isto porque mesmo quando em quantidades abaixo do limite a partir do qual passam a serem regulados por normas, produtos químicos perigosos ainda apresentam riscos à saúde. Adicionalmente, como a indústria química desempenha processos muito variados, particulares e complexos, torna-se inviável o desenvolvimento de normas que abarquem todos os riscos envolvidos.

### **2.2.3. Abordagem Baseada em Melhoria Contínua**

Para alcançar os crescentes anseios da sociedade por mais segurança e responsabilidade, as indústrias passaram a aplicar padrões de melhoria contínua no que concerne às suas gestões de segurança, saúde e meio ambiente (AIChE/CCPS, 2007). Esta estratégia utiliza-se do *Feedback* obtido a partir dos indicadores do sistema de gestão utilizado, para identificar as falhas e orientar as mudanças necessárias. Segundo o AIChE/CCPS (2007) o objetivo da metodologia é buscar sempre melhorar os números dos indicadores. Todavia, somente esta estratégia não é a forma mais efetiva no que concerne à Segurança de Processo, tendo em vista que muitos indicadores são fundamentados em eventos raros ou parâmetros muito específicos, e não fornecem dados suficientes que possibilitem auferir com clareza o desempenho geral de segurança da companhia.

### **2.3. Abordagem CCPS para Segurança de Processos Baseada em Risco**

A estratégia de Segurança de Processo Baseada em Risco (RBPS) desenvolvida pelo *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) assume dois princípios: (i) o reconhecimento de que os recursos de uma organização são sempre limitados, e que portanto, devem ser alocados de maneira planejada e otimizada; (ii) o entendimento de que os riscos envolvidos em uma operação não são iguais, e por

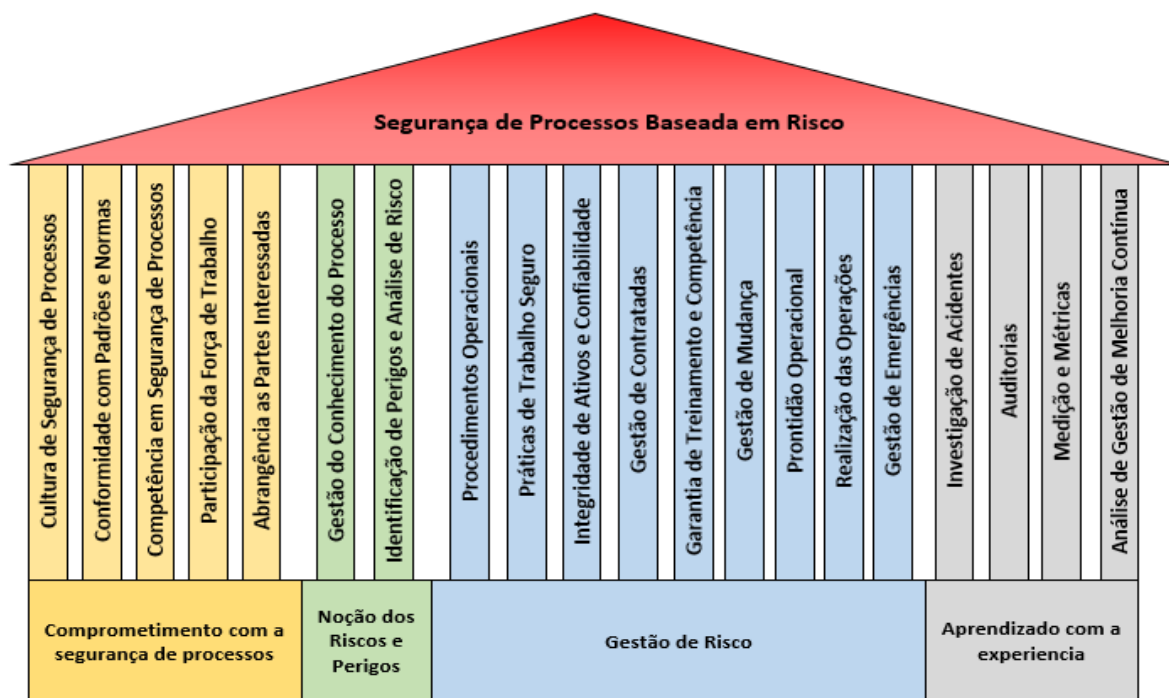
---

<sup>1</sup> órgão de proteção ambiental estadunidense.

consequente, demandam atenção e recursos proporcionais ao risco que oferecem (AIChE/CCPS, 2007). A implementação consciente da abordagem RBPS reduz a possibilidade de destinar uma quantidade excessiva de recursos ao gerenciamento de atividades de menor risco, liberando assim, recursos para atividades de maior risco.

Segundo demonstrado pelo AIChE/CCPS (2007), a abordagem RBPS pode ser dividida em quatro grupos, chamados pilares, que fundamentam essa estratégia de gestão. Cada um desses pilares pode ser implementado pelas empresas de maneira flexível e adequada às circunstâncias e especificidades de seus próprios processos. A figura 2 ilustra esses quatro pilares, assim como seus elementos constituintes.

**Figura 2. Elementos da Segurança de Processo Baseada em Risco (Adaptado de *Diretrizes para Segurança de Processo Baseada em Risco*, AIChE/CCPS, 2007).**



### 2.3.1. Primeiro Pilar: Comprometimento com a Segurança de Processos

O comprometimento da organização com as boas práticas da segurança do processo é a pedra angular para uma gestão de segurança eficiente. A presença de uma liderança engajada, que reconheça, incentive e recompense o comportamento seguro, é imperativa na consolidação da segurança como um valor essencial da companhia (OLIVE *et al*, 2006). Uma vez incorporado à cultura da empresa, esse

compromisso com a segurança ajuda a manter o foco na busca pela excelência operacional e no bem-estar de seus funcionários. Trabalhadores alinhados com esses valores buscarão naturalmente fazer as coisas certas mesmo quando ninguém estiver olhando (AIChE/CCPS 2007).

Este pilar é composto por cinco elementos, aos quais organizações que intencionam desenvolver um forte compromisso com a segurança devem dedicar atenção especial. São eles:

- I. Cultura de Segurança de Processos;
- II. Conformidade com Padrões e Normas;
- III. Competência em Segurança de Processos;
- IV. Participação da Força de Trabalho;
- V. Abrangências às partes interessadas.

#### **2.3.1.1 Cultura de Segurança de Processos**

Cultura de segurança pode ser entendida como a coleção de crenças, percepções e valores que os funcionários de uma empresa compartilham em relação aos riscos dentro da organização. A antiga HSC<sup>2</sup> desenvolveu uma das definições de cultura de segurança mais usadas pela indústria:

O produto de valores, atitudes, percepções, competências e padrões de comportamento individuais e coletivos que determinam o compromisso e a proficiência com o gerenciamento de saúde e segurança de uma organização. As organizações com uma cultura de segurança proativa são caracterizadas por comunicações baseadas na confiança mútua, em percepções compartilhadas da importância da segurança e na confiança na eficácia de medidas preventivas. (1993)

Decisões que priorizam a produção ou custo antes da segurança, e violações sistemáticas de procedimentos de segurança na rotina da empresa são sintomas de

---

<sup>2</sup> A *Health And Safety Commission* era um órgão público do Reino Unido criado pela Lei de Saúde e Segurança no Trabalho de 1974. Suas responsabilidades cobriam a Inglaterra, o País de Gales e a Escócia.

uma cultura de segurança mal desenvolvida (HSE, 2005). A cultura de segurança é a maneira como a segurança é percebida e valorizada dentro de uma organização, refletindo o verdadeiro compromisso com a segurança operacional. Dessa forma, é fundamental que as organizações promovam uma cultura de segurança proativa através de políticas que alinhem as metas de segurança aos padrões organizacionais, treinamento e melhores práticas.

Em uma organização com uma forte cultura de segurança, indivíduos e grupos assumem a responsabilidade pela segurança, comunicando suas preocupações e se esforçando para aprender, adaptar e modificar o comportamento individual e organizacional com base nas lições aprendidas (FAA, 2015).

#### **2.3.1.2. Conformidade com Padrões e Normas**

Uma empresa que preze pela excelência operacional em segurança deve assegurar-se de que suas operações estejam em conformidade com os regulamentos cabíveis, isto é, padrões internos e externos; códigos e normas nacionais e internacionais; e todas as leis aplicáveis.

Atualmente no Brasil há 37 Normas Regulamentadoras (NR) em vigor, cujas funções são regular e orientar sobre procedimentos obrigatórios relacionados principalmente à segurança e saúde do trabalhador. Estas normas foram aprovadas pela Portaria N° 3.214, 8 de junho de 1978, e são de cumprimento obrigatório por todas as empresas atuantes no Brasil e regidas pela CLT (ENIT, 2019).

Um alto percentual de adequação e conformidade com as normas estabelecidas possibilitam uma empresa operar com um mínimo de segurança, minimizando a exposição legal em caso de acidente (AIChE/CCPS, 2007). Contudo, somente a adequação as normas vigentes frequentemente não é o suficiente para garantir a segurança das operações dada a grande variedade de atividades desempenhadas. É necessário que a empresa seja proativa e busque desenvolver uma cultura de segurança própria, que esteja alinhada com seus processos e objetivos.

#### **2.3.1.3. Competência em Segurança de Processos**

Este elemento visa identificar as lacunas no conhecimento de segurança de processos de uma organização. Desta maneira, busca-se compartilhar e aprimorar

os procedimentos de segurança e boas práticas da indústria, o que possibilita uma tomada de decisão mais consciente frente aos imprevistos e riscos da operação.

Conforme Andrade (2000), risco também pode ser entendido como uma estimativa do grau de incerteza referente à realização de uma atividade. Desta maneira, quanto melhor informada for uma organização sobre seus processos e dos métodos sobre como geri-los, menor o risco ao qual está sujeita.

#### **2.3.1.4. Participação da Força de Trabalho**

Promover o envolvimento ativo do pessoal em todos os níveis da organização é um dos cinco elementos componentes do pilar Compromisso com a Segurança de Processo. Os trabalhadores, em todos os níveis e em todas as posições em uma organização, devem assumir responsabilidades que visem a garantia da segurança das operações (AIChE/CCPS, 2007).

A Seção 304 da Lei do Ar Limpo (EPA, 2017) estabelece que os empregadores devem envolver seus funcionários no desenvolvimento e na implementação dos elementos do SGS e nas avaliações de riscos, uma vez que os trabalhadores envolvidos na operação e manutenção dos processos são os mais expostos aos perigos associados a estes. A Seção 304 também exige que as empresas informem os funcionários afetados a respeito das descobertas de investigações de acidentes e auditorias.

Busca-se, através do envolvimento da força de trabalho dinâmicas que lhes permitam um envolvimento mais direto e crítico com sua própria proteção (OLIVE *et al*, 2006). Além disso, por conta de suas experiências na operação, muitos colaboradores são frequentemente a fonte mais segura de alguns conhecimentos específicos relativos ao funcionamento dos equipamentos.

Sem o envolvimento efetivo de toda a força de trabalho torna-se essencialmente inviável a implantação eficiente de um sistema de gestão de riscos. Isto porque, a força de trabalho é o principal agente responsável pela execução, monitoramento e tomada de decisão em uma organização. Em se tratando da abordagem RBPS, na ausência de uma força de trabalho motivada e engajada com a segurança, todo o primeiro pilar descrito anteriormente fica comprometido pois haverá forte tendência para o descompromisso com a segurança na organização.

#### **2.3.1.5. Abrangência às Partes Interessadas**

O alcance às partes interessadas é um recurso para estabelecer um bom relacionamento com a comunidade, outras empresas e autoridades governamentais, de forma a fornecer informações precisas sobre os produtos, processos, planos de emergência, perigos e riscos da instalação (AIChE/CCPS, 2007).

Lin (2014) argumenta que a oposição da comunidade a um empreendimento industrial pode originar-se de preocupações tais como: (i) contaminações ambientais que poluem a qualidade da água, do ar e do solo; (ii) aumento do custo de vida devido ao influxo de mão-de-obra; ou (iii) mudanças bruscas na rotina da cidade. Para lidar com essas preocupações, as empresas devem ser transparentes com relação às suas atividades e promover atividades comunitárias que construam legitimidade junto à população (LOWNDES *et al*, 2001).

A manutenção de um bom relacionamento com a comunidade que a cerca é fundamental na obtenção dos objetivos de longo prazo das companhias, pois a percepção pública pode pressionar as autoridades a questionar as licenças de operação da planta caso a população se sinta insegura com suas atividades.

### **2.3.2. Segundo Pilar: Noção dos Riscos e Perigos**

De acordo com o AIChE/CCPS (2007), organizações conscientes dos perigos e riscos envolvidos em seus processos estão mais preparadas para alocar seus recursos de maneira mais eficiente. A experiência tem demonstrado que as empresas que baseiam e planejam suas atividades em um entendimento abrangente dos riscos envolvidos, tendem a desenvolver rotinas estáveis e confiáveis, melhorando seus resultados a longo prazo. Dois elementos constituem e caracterizam esse pilar:

- I. Gestão de Conhecimento do Processo
- II. Identificação dos Perigos e Análise de Riscos

#### **2.3.2.1. Gestão do Conhecimento do Processo**

O elemento Gestão de Conhecimento do Processo concentra-se no armazenamento, atualização, catalogação, compartilhamento e, principalmente, na compreensão por parte da força de trabalho das informações relativas aos processos e normas da empresa. Conforme orienta o AIChE/CCPS (2007), o operador da planta

desempenha papel fundamental na realização das ações supracitadas, atuando na obtenção e organização das informações do processo ao longo de todo o processo.

De forma análoga, o Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO) da ANP, descrito através da Resolução ANP N°43/2007 (ANP, 2007), determina que é responsabilidade da gerência da instalação o desenvolvimento de um sistema de controle de documentação que considere a atualização, distribuição, controle e integridade das informações documentadas. Ainda da mesma resolução segue que (ANP, 2007) “(...)o Operador da Instalação terá como atribuição garantir o acesso adequado do pessoal às informações e à documentação da Instalação que sejam afetas a este Regulamento Técnico, considerando as necessidades de trabalho e de treinamento de cada um.”

Entraves no acesso a informações relevantes tendem a criar rotinas de segurança ineficientes. Isto porque, frequentemente, dados importantes, como manuais do fabricante, especificações e outras informações referentes ao processo são perdidas porque os documentos não estão bem organizados e atualizados.

#### **2.3.2.2. Identificação dos Perigos e Análise de Riscos**

Um dos elementos fundamentais da estratégia RBPS, a identificação dos perigos e análise de riscos (*Hazard Identification and Risk Analysis* - HIRA) constitui uma abordagem sistemática e ordenada que visa identificar, avaliar e controlar os riscos dos processos (OSHA, 2000).

Somente com uma execução eficiente da HIRA é possível atingir os objetivos da gestão baseada em risco de encontrar a forma mais eficiente de alocação dos recursos de acordo com os riscos. Isto porque a abordagem determina o nível de risco em termos de sua frequência e consequência (ANAC, 2019F). Dessa forma é possível classificar e visualizar quais processos demandam maior atenção e recursos. Em posse dessas informações examina-se se os níveis de risco são toleráveis e, caso contrário, quais as ações mitigadoras cabíveis.

O AIChE/CCPS (2007) explica que, enquanto algumas empresas podem julgar um risco aceitável se o processo estiver em conformidade com um padrão mínimo, outras podem exigir que os riscos atendam a critérios de tolerabilidade internos. Algumas empresas podem julgar o risco inaceitável sob quaisquer circunstâncias e exigir que o processo seja realocado ou abandonado, a menos que seja encontrada uma alternativa inerentemente mais segura.

Existem diversas técnicas de análise de riscos, com diferentes metodologias e aplicações. Um processo muito complexo que envolva uma série de operações unitárias de tamanhos e tecnologias diferentes por exemplo, pode exigir uma combinação simultânea de técnicas para uma avaliação completa. É importante ressaltar que a técnica de análise de riscos deve ser sempre selecionada de acordo com a complexidade e particularidades do processo (OSHA,1994).

A tabela 2 ilustra as técnicas utilizadas no modelo de gestão de risco da FAA (2015), conforme descritas em seu manual de *Safety Management System* (SMS).

**Tabela 2. Técnicas de análise e avaliação de riscos. (Adaptado de ATO SMS Manual, 2019)**

<b>Técnicas</b>	<b>Descrição</b>
<b>Análise de modo e efeito de falha</b>	Determina ou efeitos de falhas em subelementos de uma operação do sistema e as classifica conforme sua gravidade.
<b>Modo de falha, efeitos e análise de criticidade</b>	Identifica os modos de falha de componentes e subsistemas (incluindo erro humano), avalia os resultados dos modos de falha, determina taxas e probabilidade e demonstra conformidade com os requisitos de segurança.
<b>Análise de risco de falhas</b>	A Análise de Risco de Falha consiste uma investigação detalhada dos subsistemas para determinar os modos de risco dos componentes, as causas desses perigos e os efeitos resultantes nos subsistemas e suas operações.
<b>Análise de árvore de falhas</b>	É uma abordagem gráfica dedutiva de cima para baixo, estruturada em termos de eventos. É usado para modelar panes em termos de falhas, anomalias, mau funcionamento e erros humanos.
<b>Análise da tarefa</b>	Constitui a base para avaliação de erro humano. Descreve as tarefas humanas levando em consideração as capacidades perceptivas, cognitivas motoras exigidos de um funcionário.
<b>Avaliação de riscos operacionais</b>	É uma avaliação qualitativa da gravidade dos perigos associados ao sistema.
<b>Análise de cenário</b>	Examina situações potencialmente perigosas postulando cenários de acidentes plausíveis.
<b>Análise de variações hipotéticas</b>	Analisa variações hipotéticas para identificar perigos, situações perigosas ou eventos específicos que podem produzir uma consequência indesejável.

De maneira geral, pode-se agrupar as técnicas de avaliação de risco em três grupos: qualitativas, semi-quantitativas ou quantitativas.

A Análise Qualitativa de Riscos consiste em avaliar as possíveis perdas e a frequência dos cenários acidentais identificados, classificando os riscos de acordo com seu impacto potencial no projeto. A análise ajuda a fornecer à equipe uma boa



visão dos inúmeros riscos associados às operações e os cenários mais críticos que requerem atenção e controle adicionais. Em uma avaliação qualitativa, a frequência e a consequência não são numericamente estimadas, mas avaliadas usando qualificadores subjetivos (AIChE/CCPS, 2007). O risco é determinado cruzando-se essas informações em uma matriz de compatibilidade (tabela 3), a partir da qual verifica-se se o risco está dentro dos limites toleráveis ou se ações mitigadoras adicionais precisam ser tomadas (ANAC, 2019F). As técnicas qualitativas são especialmente úteis para as avaliações iniciais, quando vários cenários são considerados ou quando ainda não há dados suficientes para suportar estimativas numéricas. Para a FAA:

Uma maneira simples de determinar a probabilidade é classificar o risco com base em sua frequência de ocorrência. Em situações em que a modelagem matemática não é viável, a experiência pura no assunto torna-se a única alternativa disponível, fornecendo uma abordagem qualitativa para determinar a probabilidade. (2015)

Por sua vez, a avaliação de severidade representa a estimativa das consequências da ocorrência de um perigo em termos das perdas esperadas, considerando-se o pior cenário possível (ANAC, 2019F). As tabelas 4 e 5, ilustram os modelos de tabelas de frequência e severidade normalmente utilizados pelas indústrias em suas avaliações preliminares de risco.

**Tabela 3. Matriz de Compatibilidade de Risco. (Adaptado de ATO SMS Manual, 2019)**

		Impacto			
		Desprezível	Moderado	Crítico	Catastrófico
Frequência	Frequente	Moderado	Moderado	Intolerável	Intolerável
	Provável	Moderado	Moderado	Intolerável	Intolerável
	Remota	Tolerável	Moderado	Moderado	Intolerável
	Muito Remota	Tolerável	Tolerável	Moderado	Moderado
	Extremamente Improvável	Tolerável	Tolerável	Tolerável	Moderado

**Tabela 4. Frequência de ocorrência de evento. (Adaptado de NOLAN, 2008)**

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>
Extremamente improvável	Não ocorre durante a vida útil da planta e não existe histórico de já ter ocorrido na indústria.
Muito improvável	Não esperado ocorrer durante a vida útil da planta. Contudo, há histórico de já ter ocorrido na indústria.
Remota	Ocorrência pouco provável na indústria.
Provável	É possível de ocorrer 1 ou 2 vezes durante a vida útil da planta.
Frequente	Já ocorreu na planta e é possível que ocorra várias vezes ao longo da vida útil da planta.

**Tabela 5. Análise de severidade. (Adaptado de CETESB, 2011)**

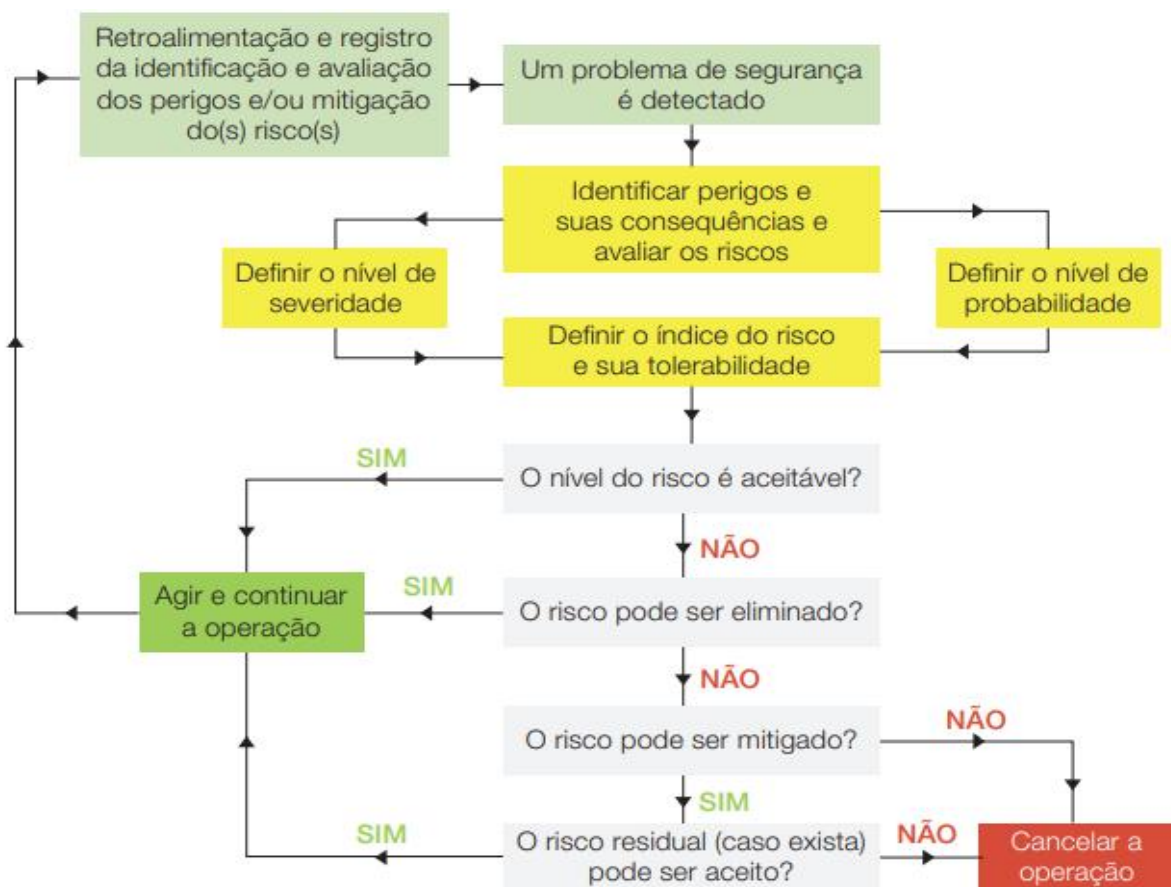
<b>Mínima</b>	<b>Média</b>	<b>Crítica</b>	<b>Catastrófica</b>
Sem lesões ou lesões sem afastamento	Lesões leves em funcionários	Lesões moderadas em funcionários e na população externa	Lesões graves ou mortes em pessoas dentro e fora da planta
Danos insignificantes aos equipamentos.	Danos leves aos equipamentos	Danos severos aos equipamentos	Destruição dos equipamentos
Sem danos ao meio ambiente	Danos leves ao meio ambiente.	Dano considerável ao meio ambiente	Dano permanente ao meio ambiente

Após a identificação dos perigos, avaliação das consequências e definição dos níveis de risco, examina-se a tolerabilidade do risco. Esta informação indica se é possível conviver com os riscos encontrados, se é necessário mitiga-los, ou mesmo se é preciso abortar completamente a operação e buscar outras alternativas mais seguras. A figura 3 ilustra de maneira sucinta as etapas do processo de

gerenciamento de risco adotado pela ANAC. Os resultados da tolerabilidade dos riscos por sua vez, são normalmente expressos nos termos descritos abaixo (ANAC, 2019F):

- I. Tolerável – Onde somente o monitoramento dos parâmetros e controles é necessário.
- II. Moderado – Aqui ações mitigadoras devem ser pensadas visando a diminuição do risco. Elas devem ser desenvolvidas considerando a viabilidade financeira do projeto e o custo-benefício obtido.
- III. Intolerável - O processo deve ser repensado de forma a reduzir a severidade ou frequência do evento para dentro dos limites de tolerabilidade.

Figura 3. Fluxograma de gerenciamento de risco da ANAC (Extraído de SGSO na Prática, 2019).



Com respeito as técnicas quantitativas, tem-se da resolução CEPRAM N° 4.578/2017 a seguinte definição:

Análise Técnica com o objetivo de quantificar o risco de determinado empreendimento ou atividade, a partir da estimativa de frequência de ocorrência e das possíveis consequências em termos de fatalidades às comunidades expostas, considerando os cenários identificados preliminarmente através de uma metodologia qualitativa ou semiquantitativa de risco. (CEPRAM, 2017)

Em outras palavras, as técnicas quantitativas analisam numericamente, através de modelos matemáticos e coleta de dados, a frequência de cada evento de risco identificado (tabela 6) e seu impacto. A confiabilidade de uma análise quantitativa de riscos depende da acurácia dos dados numéricos disponíveis e da validação dos modelos numéricos utilizados (AS/NZS 4360, 2004).

**Tabela 6. Frequência de ocorrência de falha. (adaptado de MARLIN, 2013)**

<b>Evento Iniciador</b>	<b>Frequência (eventos/ano)</b>
Falha de duto (rompimento)	$10^{-5}$ até $10^{-6}$
Falha de duto (vazamento)	$10^{-3}$ até $10^{-4}$
Falha de tanque atmosférico	$10^{-3}$ até $10^{-5}$
Falha do selo da bomba	$10^{-1}$ até $10^{-2}$
Falha no sistema de refrigeração	1 até $10^{-2}$

Da mesma Resolução CEPRAM N° 4.578/2017 extrai-se também uma relevante definição para as técnicas semiquantitativas:

Metodologia de análise de risco de uma instalação considerando as suas camadas independentes de proteção (CIP) existentes. Caracteriza-se como uma técnica semiquantitativa por avaliar os cenários de risco e compara-los com o critério de tolerabilidade de risco por meio de cálculo de frequência e classificação de consequência. (CEPRAM, 2017)

Também chamada de Análise de Camadas de Proteção (*Layer of Protection Analysis* – LOPA), o método consiste na determinação do risco de um acidente considerando-se dois fatores: (i) a frequência de ocorrência de um evento iniciador

indesejado e; (ii) a frequência de falha das camadas de proteção (tabela 7) projetadas para impedir que este evento iniciador evolua para um cenário de acidente (ALVES, 2007). A figura 4 exemplifica uma típica tabela usada no cálculo de risco através da técnica LOPA. Alves define uma camada independente de proteção (IPL) como:

Um dispositivo, equipamento, sistema ou ação capaz de impedir a consequência da ocorrência de um cenário indesejado, independente do evento iniciador ou da ação de qualquer outra camada de proteção desse cenário. (2007)

**Tabela 7. Probabilidade de falha das CIP's (Extraído de MARLIN, 2013)**

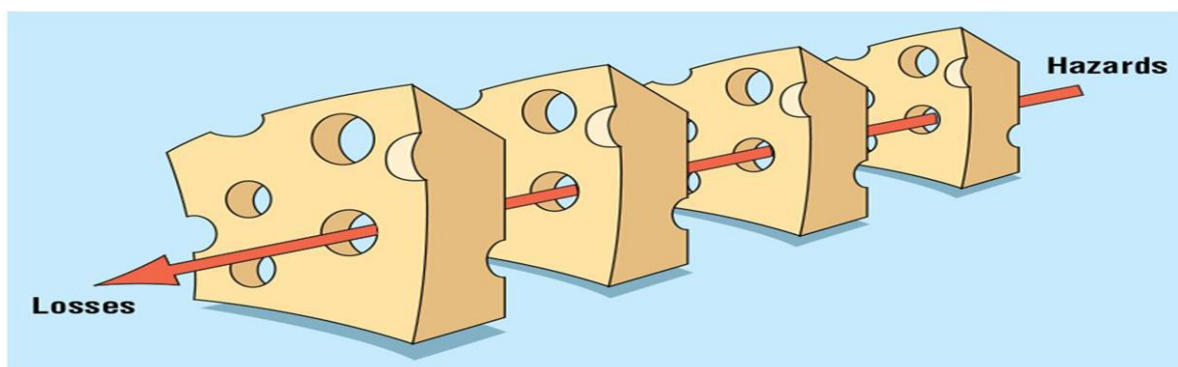
<b>Camada de Proteção Independente (CIP)</b>	<b>Frequência de falha</b>
Controles do processo	$10^{-1}$
Sistema de alarme	$10^{-1}$
Sistema de instrumentação de segurança	$10^{-2}$

Dessa forma, é possível alcançar uma avaliação mais precisa a um custo consideravelmente menor que o das técnicas puramente quantitativas (SUMMERS, 2003). A figura 5 demonstra o modelo do “queijo suíço” no qual se baseia a LOPA, onde cada fatia do queijo representa uma camada de proteção e os buracos suas vulnerabilidades intrínsecas. Observa-se que um acidente somente acontecerá se todas as CIP's projetadas para impedi-lo falharem simultaneamente. Já a tabela 8 exemplifica algumas das técnicas de análise e identificação de risco já citadas, porém separadas conforme sua finalidade.

**Figura 4. Planilha para o cálculo de LOPA (Adaptado de MARLIN, 2013)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				Protection Layers						
#	Initial Event Description	Initiating cause	Cause likelihood	Process design	BPCS	Alarm	SIS	Additional mitigation (safetyvalves, dykes, restricted access, etc.)	Mitigated event likelihood	Notes
1	High pressure	Connection (tap) for pressure sensor P1 becomes plugged	0.10	0.10	1.	1.0	1.0	1.0	.01	Pressure sensor does not measure the drum pressure

**Figura 5. Modelo do “Queijo Suíço” (Extraído de REASON, 1997).**



**Tabela 8. Técnicas para Análise de Risco divididas por finalidade. (Adaptado de AIChE/CCPS, 2008)**

<b>Finalidade</b>	<b>Técnicas</b>
<b>Análise qualitativa de risco</b>	Hazard and operability Studies (HAZOP)
	Análise Preliminar de Riscos (APR)
	Failures Mode and Effect Analysis (FMEA)
	Falures Mode, Effect and Critically Analysis (FMECA)
<b>Análise semiquantitativa de risco</b>	Layer of Protection Analysis (LOPA)
<b>Análise quantitativa de risco</b>	Análise Quantitativa de Risco (AQR)

### **2.3.3. Terceiro Pilar: Gestão de Risco**

Neste pilar estão contidos alguns elementos essenciais da abordagem RBPS. Eles preconizam a metodologia, assim como as ações e boas práticas operacionais necessárias para gerenciar e mitigar os riscos.

Conforme já demonstrado nos itens anteriores, é irrealista e dispendioso esperar a perfeição plena em todas as atividades de segurança e tratar todos os riscos igualmente. Em vista disso, busca-se desenvolver sistemas que possibilitem a tomada de ações mitigadoras, a adoção de boas práticas de trabalho, assim como o monitoramento da eficiência em segurança para fins de melhoria contínua (AIChE/CCPS, 2007).

A ISO 31000 (2009) preconiza que, uma vez identificados e avaliados os riscos, as ações tomadas pelas organizações para o tratamento e mitigação deles podem ser feitas das seguintes formas:

- I. Esquivar-se do risco, optando por não iniciar ou interromper o processo gerador do referido risco;
- II. Diminuição da severidade do risco;
- III. Diminuição da frequência do risco;
- IV. Compartilhar o risco com outras partes, tais como outras empresas e as autoridades;
- V. Remoção completa da fonte de risco.

Como o risco é um elemento inerente da rotina de atividades, o gerenciamento de risco é frequentemente baseado no conceito de “tão baixo quanto razoavelmente possível” (*as low as reasonably practicable* - ALARP) (CASA, 2014). Ele consiste em comparar os impactos de um risco com as alterações, tempo e custos necessários para controlá-lo. Em essência, garantir a redução de um risco ao ALARP é ponderá-lo contra os sacrifícios necessários para reduzi-lo a níveis aceitáveis. O processo orienta que a adoção de medidas deve ser feita somente onde sejam necessárias, não envolvendo custos desproporcionais (HSE, 2001).

A título de exemplo, é inviável para uma empresa investir centenas de milhares de dólares para garantir que sua brigada de incêndio nunca sofra leves contusões. No entanto, é perfeitamente compreensível despendar esse mesmo valor em medidas que evitem a explosão de um tanque de gás capaz de matar dezenas de pessoas. Swapan Basu (2017) argumenta que “(...)o ponto de equilíbrio na economia e na contabilidade é aquele onde o custo é igual a receita. Da mesma forma, o ALARP é o ponto em que o nível de risco encontra recursos e esforços.”

As figuras 6 e 7 demonstram, de maneira gráfica, o conceito do ALARP.

Figura 6. Definição gráfica do ALARP. (Extraído de *Plant Hazard Analysis and Safety Instrumentation Systems*, 2017)

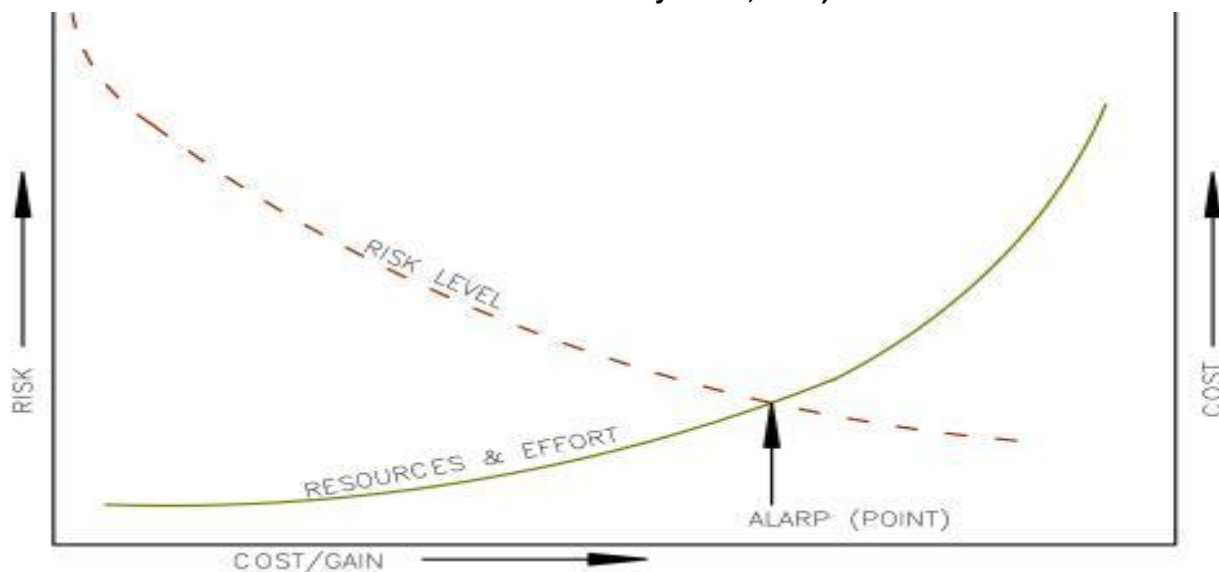
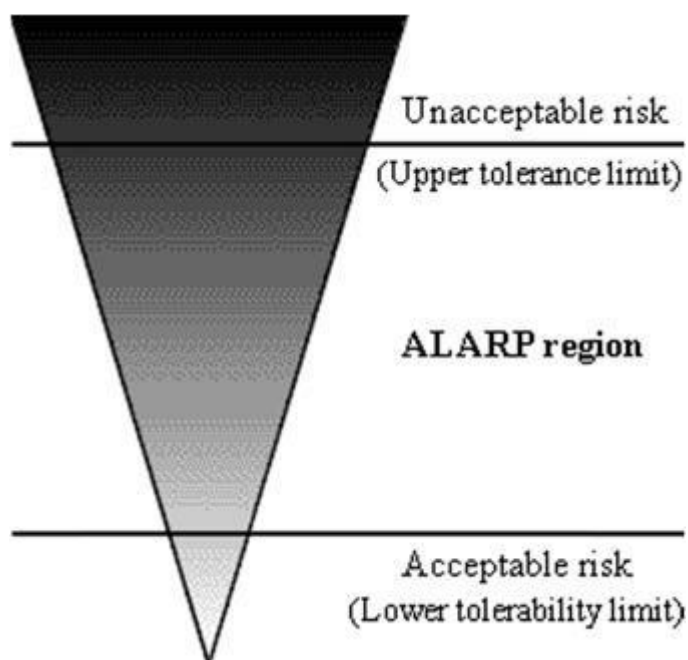


Figura 7. Representação ilustrativa do ALARP (Extraído de *Marine Structural Design*, 2016)



O HSE (2001) explica ainda que não existe uma fórmula simples para calcular o ALARP ou determinar com exatidão o risco, pois muitas vezes os processos desenvolvidos possuem grande complexidade técnica e econômica, dificultando a tomada de decisão a respeito dos controles e ações necessárias.



### **2.3.3.1. Procedimentos Operacionais**

Os procedimentos operacionais são instruções escritas que listam as etapas de execução de uma determinada atividade descrevendo-a em detalhe (AIChE/CCPS, 2007). Isto é, são documentos que incluem as precauções e implicações de segurança relacionados a execução de uma tarefa. Por exemplo, os procedimentos devem trazer consigo, entre outros assuntos, instruções sobre limites de pressão, faixas de temperatura, quais alarmes e instrumentos são importantes e o que fazer em caso de desvios (OSHA, 1994). Os procedimentos escritos também ajudam a garantir que a operação seja conduzida de maneira consistente diariamente, levando a uma operação na qual desvios podem ser detectados mais facilmente.

Conforme orienta a ANP (2007) o nível de detalhamento de um procedimento deve ser proporcional ao risco relativo à atividade em questão, pois processos de grande complexidade necessitarão de rotinas de controle mais rígidas. Todavia, é importante atentar-se para que o volume de procedimentos não seja exorbitante, pois uma documentação excessiva pode retardar a operação visto que operadores experientes tendem a usar os manuais essencialmente para referência e consulta, e não como um guia passo-a-passo para cada execução de uma tarefa.

### **2.3.3.2. Práticas de Trabalho Seguro**

As práticas de Trabalho Seguro, segundo elemento do pilar Gestão de Riscos, referem-se aos riscos associados a atividades não rotineiras que possuem um alto risco inerente, tais como trabalho em altura, espaço confinado e alguns procedimentos de manutenção (AIChE/CCPS, 2007).

A Resolução OSHA 3133/1994 elucida que atividades não rotineiras devem ser controladas pela gerência de maneira consistente, de forma que tarefa só poderá ser executada após a aprovação de uma permissão de trabalho. No SGSO da ANP (2007), são estabelecidos quatro critérios relativos à gestão de procedimentos não rotineiros de alto risco. Eles determinam:

- I. Que a gerência da Instalação estabelecerá os tipos de atividade que requererão permissão de trabalho;
- II. Que a Permissão de Trabalho incluirá, se necessárias, medidas adicionais de mitigação de risco para a realização segura da tarefa;

- III. A realização da análise prévia das condições de segurança mínimas para execução da tarefa, bem como dos perigos já existentes no ambiente de trabalho, a fim de avaliar se a tarefa pode ser realizada.
- IV. A garantia de que o sistema de permissão de trabalho: (a) seja devidamente registrado e que os formulários e as autorizações sejam claros e precisos; e (b) estipule que as permissões de trabalho sejam aprovadas pelo(s) especialista(s) em segurança da instalação.

Ainda segundo a OSHA (1994), as permissões devem identificar quem a emitiu, quem realizará o trabalho, onde será feito, bem como os documentos necessários para sua emissão. Adicionalmente, tanto os funcionários que executarão o trabalho, quanto aqueles cuja rotina será afetada de alguma forma pela atividade, devem estar plenamente cientes da realização da tarefa e dos riscos referentes a ela.

Ao avaliar os elementos de procedimentos operacionais e de práticas de trabalho seguro, nota-se que eles são fundamentalmente complementares. Os dois elementos quando em conjunto auxiliam no entendimento, por parte da força de trabalho, dos perigos durante atividades não rotineiras garantindo um processo de tomada de decisão mais consciente.

#### **2.3.3.3. Integridade de Ativos e Confiabilidade**

O objetivo deste elemento de gestão é demonstrar os requisitos que devem ser considerados pelo SGSO para que a estrutura, os equipamentos e os sistemas de uma instalação sejam inspecionados e testados de forma planejada, tendo em vista a integridade mecânica e adequação ao uso (ANP, 2007). Em outras palavras, esse elemento preconiza que os equipamentos sejam planejados e instalados adequadamente e permaneçam aptos para uso até serem propriamente aposentados (AIChE/CCPS, 2007).

É fundamental que as atividades relacionadas a esse elemento recebam atenção especial da gerência por dois motivos. Primeiramente, porque os equipamentos usados para processar, armazenar e manusear produtos químicos perigosos devem ser projetados, construídos, instalados e mantidos de forma a minimizar a possibilidade de liberação acidental desses produtos (OSHA, 1994). Simultaneamente, há de se ter em mente que inúmeros equipamentos, tais como alarmes, válvulas de alívio, medidores, e travas, são destinados exclusivamente para

garantir a segurança das operações. Eles constituem parte fundamental das medidas de atenuação e controle de riscos discutidas nos elementos do segundo pilar, de forma que a sua presença e bom funcionamento são muitas vezes as garantias de segurança que permitem a execução de determinada tarefa ou processo.

Kidam (2013) demonstra que ao longo da história da indústria química foram inúmeros os casos de acidentes cuja causa-raiz foi identificada como uma falha de equipamento. Atestou-se que aproximadamente 25% deles foram relacionados a rompimentos de tubulações, que resultaram em liberações de material que deram origem a eventos indesejados, como incêndios, explosões ou poluição (KIDAM & HURME, 2013). Em vista disso, pode-se afirmar que para a segurança de processos a manutenção preocupa-se em cumprir dois objetivos:

- I. Impedir uma liberação acidental de material perigoso ou de energia;
- II. Garantir a confiabilidade dos sistemas de segurança que impedem ou mitigam a efeitos desses tipos de eventos, como alarmes e sensores.

A OSHA (2000) orienta que as inspeções e testes devem obedecer ao cronograma especificado pelo fabricante, ou se necessário, de acordo com a experiência operacional. Ela também orienta que todo procedimento de reparo deve ser devidamente documentado, identificando-se além dos resultados obtidos, a data de sua execução, o nome do colaborador incumbido da execução e a identificação do equipamento.

#### **2.3.3.4. Gestão de Contratadas**

A indústria comumente utiliza de empresas contratadas para desempenhar funções especializadas ou não rotineiras. A falta de familiaridade que a equipe contratada pode ter com as instalações do contratante e suas especificidades, impõe desafios únicos à rotina de segurança da organização (AIChE/CCPS, 2007).

Segundo a Resolução 43/2007 da ANP, cabe ao contratante a missão de definir os critérios para seleção e avaliação de desempenho de contratadas. Ele precisa garantir que todas as empresas contratadas tenham funcionários propriamente treinados no plano de segurança da instalação e cientes dos riscos aos quais estão expostos. Já o contratado selecionado deve assegurar-se de que seus

funcionários sejam qualificados para executar o trabalho a ser realizado e que atendam aos requisitos de segurança e saúde da instalação (OSHA, 1994).

Isto posto, torna-se essencial a implementação de um sistema que vise garantir a seleção e gestão de contratados aptos cujos serviços não impactem os riscos operacionais da instalação. Neste contexto, o uso de um sistema de permissões de trabalho similar àquele demonstrado no elemento “Práticas de Trabalho Seguro” faz-se extremamente interessante, uma vez que as autorizações mantêm o empregador a par das atividades realizadas pelos funcionários contratados. Desse modo, o empregador é capaz de coordenar melhor o trabalho executado na área de processo, minimizando seu impacto na rotina.

#### **2.3.3.5. Garantia de Treinamento e Competência**

A operação segura de instalações que fabricam ou lidam com produtos químicos perigosos exige trabalhadores qualificados em todos os níveis, desde gerentes e engenheiros, até os operadores (OSHA, 1994). Em vista disso, pode-se afirmar que a elaboração e implementação de um programa de treinamento eficiente representa uma das maiores garantias de uma empresa contra acidentes.

Um plano de treinamento abrangente e atualizado constitui a base para alcançar elevados níveis de segurança operacional (AIChE/CCPS, 2007). No Brasil a ANP (2007) aponta que cabe à entidade responsável pela instalação identificar as habilidades e conhecimentos necessários para a execução das tarefas, e providenciar os treinamentos adequados. Ela também é enfática em atribuir novamente ao gestor da planta a responsabilidade de documentar e registrar todos os treinamentos realizados.

Além dos procedimentos técnicos necessários para realização do seu trabalho, um programa de treinamento eficiente também deve ser capaz de instruir os funcionários a respeito dos riscos aos quais estão expostos e dos valores da cultura de segurança da empresa. Dessa maneira, a organização é capaz de avaliar o desempenho real do trabalhador, onde um resultado ruim pode indicar um plano treinamento inadequado. Para Bridges (2010), um treinamento operacional eficiente deve:

- I. Preparar o operador para lidar com situações-problema, tais como desvios ou perturbações no processo;

- II. Fornecer aos colaboradores um modelo mental do processo. Isto é, um panorama geral das atividades para que ele compreenda o papel de sua função;
- III. Fornecer aos trabalhadores conhecimento prático e teórico em tarefas críticas, tais como procedimentos de *Shutdown*, *Startup*, *Lockout/Tagout* e quaisquer outras práticas de trabalho que se apliquem às suas tarefas.

Vale ressaltar que todas as pessoas que frequentem as instalações, incluindo auditores e visitantes, devem receber um treinamento de conscientização conciso a respeito dos riscos presentes na área, das rotas de fuga e do significado da sinalização empregada (ANP, 2007).

Outro aspecto importante do programa de treinamento de uma organização diz respeito a periodicidade dos retreinamentos e avaliações de desempenho. A OSHA (2000) através de sua Resolução 3133/2000 reconhece que “(...)o treinamento de reciclagem deve ser oferecido pelo menos a cada três anos, ou mais frequentemente, se necessário, a cada funcionário envolvido na operação de um processo para garantir que ele esteja a par dos procedimentos operacionais atuais em vigor.”

A realização de testes e simulações periódicas que possibilitem aos funcionários aplicar seu conhecimento, é a melhor maneira de avaliar se o programa de treinamento está gerando os resultados esperados (OSHA, 2000). O quadro 1 ilustra alguns dos questionamentos definidos no SGSO da ANAC (2019C) para a avaliação da eficácia de seu programa de treinamento.

**Quadro 1. Checklist para avaliação da efetividade do treinamento em Segurança Operacional**  
(Extraído de ANAC, 2019)

**Todo o pessoal envolvido com as operações (incluindo os terceirizados) está identificado?**

**As necessidades de treinamento para os funcionários envolvidos nas operações têm sido levantadas?**

**A documentação de apoio ao programa de treinamento, incluindo os registros e históricos dos treinamentos, foi elaborada?**

**Há treinamentos específicos disponíveis para o pessoal que desempenha tarefas especializadas?**

**Há tempo e suporte para que as lições aprendidas com o treinamento sejam implementadas?**

**Os funcionários são submetidos a testes para verificar a eficácia do treinamento?**

**O *Feedback* recebido por parte dos funcionários é considerado no aperfeiçoamento o programa de treinamento?**

**O plano de treinamento é periodicamente revisto e atualizado?**

Uma vez demonstrada a função do programa de treinamento no que tange a capacitação da força de trabalho, fica claro o importante papel deste elemento na abordagem RBPS. Primeiramente, pois é através do seu plano de treinamento que uma empresa é capaz de propagar os valores de sua cultura de segurança e garantir uma atuação proativa e comprometida de seus funcionários. Ademais, porque é a partir do programa de treinamento que a força de trabalho aprende sobre os procedimentos operacionais e comportamentais de segurança a serem empregados no dia-a-dia. Estes incluem por exemplo as rotinas de manutenção, as práticas de trabalho seguro e a aplicação dos procedimentos operacionais, já citadas neste trabalho. Para a ANP (2019) “*o treinamento é, inclusive, uma das principais estratégias de defesa e de mitigação dos riscos no contexto do gerenciamento da segurança*” tamanha é a sua importância para um sistema de gestão de segurança baseado no risco.

Em visto disto, é preciso garantir um alinhamento preciso entre a metodologia de identificação de perigos e análise de riscos discutidas anteriormente e a elaboração do plano de treinamento da empresa, uma vez que o treinamento deve focar na conscientização dos riscos e ações de emergência. Na ausência de um programa de treinamento eficiente, não há como garantir uma implantação satisfatória do RBPS.

#### **2.3.3.6. Gestão de Mudança**

Uma instalação industrial passa por inúmeras alterações ao longo de seu ciclo de vida. Modificações como reparos, trocas de equipamentos e de pessoal podem ocorrer de forma repentina, impactando a rotina de trabalho e aumentando os riscos associados as atividades desempenhadas. Frente a este cenário, a Gestão de Mudanças (MOC) propõe a identificação e análise de todas as mudanças que podem afetar os processos desempenhados ou a rotina operacional (ICAO, 2018).

Nos termos da segurança de processos “mudança” pode ser definida como qualquer alteração, temporária ou permanente, em equipamentos, procedimentos, matérias-primas, variáveis de processo e quadro de funcionários (OSHA, 1994). O MOC também é uma forma de garantir que os equipamentos e os procedimentos sejam devolvidos às condições originais ao fim de uma mudança temporária.

Em seu SGSO a ANAC (2019B) orienta que para a realização segura de uma alteração no processo deve-se:

- I. Identificar os perigos e riscos associados com a mudança de acordo com a metodologia de gerenciamento de risco da organização;
- II. Elaborar um plano de ação, que defina a natureza da mudança, quem é o responsável por fazê-la e qual o cronograma a ser seguido.

Ademais, é tarefa fundamental assegurar-se de que todas as alterações sejam corretamente documentadas e registradas, para que a gerência consiga: (i) acompanhar e controlar o andamento das alterações; (ii) incorporar na rotina operacional e ao plano de treinamento da equipe as medidas de segurança adotadas referentes às alterações; (iii) comunicar as mudanças à todas as pessoas potencialmente afetadas pelas modificações.

#### **2.3.3.7. Prontidão Operacional**

O elemento de Prontidão Operacional assegura que os processos desativados por algum motivo, como manutenção por exemplo, estejam preparados e configurados para serem reiniciados com segurança.

A experiência consolidada da indústria mostra que a frequência de acidentes é maior durante atividades de transição, como inicializações e *startups* (AIChE/CCPS, 2007). É comum durante esses procedimentos que os parâmetros físicos, como pressão e temperatura, extrapolem os limites operacionais padrões. Deste modo, se os equipamentos não estiverem devidamente instalados, pode haver liberação acidental de produto ou energia.

O PSM, portanto, exige que uma revisão de segurança pré-inicialização seja conduzida para novas instalações e/ou processos antes de ativá-los. Essa análise de risco deve ter como objetivo a confirmação de cinco critérios (OSHA, 2000):

- I. Garantir que o equipamento está instalado e comissionado conforme as especificações do projeto;
- II. Que os procedimentos de segurança, operação, manutenção e emergência estão em vigor e são adequados;
- III. Que uma análise de risco foi realizada e que suas recomendações foram implementadas antes da inicialização;
- IV. Que todos os funcionários envolvidos na atividade tenham sido propriamente treinados e estejam cientes da inicialização, assim como dos riscos envolvidos.

À depender da complexidade do processo, a verificação de *startups* pode consistir em somente um operador percorrendo o processo com um *checklist* ou se estender por várias semanas, conforme as equipes de engenharia e manutenção verificam a conformidade do equipamento para com os parâmetros operacionais e normas de segurança vigentes (AIChE/CCPS, 2007).

#### **2.3.3.8. Realização das Operações**

A Condução das Operações consiste na execução de tarefas operacionais e de gestão de forma padronizada e consistente. O objetivo é buscar a excelência na execução das tarefas, mantendo a consistência operacional e minimizando dessa forma as variações no desempenho.

Segundo apontam algumas estimativas, aproximadamente 90% de todos os acidentes industriais registrados foram causados por algum tipo de erro humano



(KLETZ, 2001). Em vista deste cenário, é fundamental que no plano de segurança de uma organização seja destinada atenção especial à fatores humanos envolvidos na produção como a Condução de Operações (CO) e Disciplina operacional (DO). Em seu estudo Klein (2011) estabelece CO e OD como:

- I. Condução de Operações (CO) – A representação dos valores, da cultura de segurança de um empresa, que visam: (i) a execução das tarefas rotineiras de acordo com os requisitos do plano de avaliações de risco; (ii) garantir que as atividades sejam desempenhadas corretamente e; (iii) minimizar as variações no desempenho.
- II. Disciplina operacional (DO) – Representa o esforço da força de trabalho em agir conforme orientam os padrões, políticas, normas e regras.

Ao considerar as definições acima, constata-se que o desenvolvimento de programas efetivos de CO e OD depende inteiramente da qualidade do programa de treinamento oferecido (KLEIN *et al*, 2007). Uma vez que ele é a maneira através da qual os valores da cultura de segurança da organização são propagados, conforme discutido nos tópicos anteriores.

Uma política de CO e OD bem estruturada garante a adesão e implantação bem-sucedida da política de segurança desenvolvida a partir do HIRA, possibilitando que sistemas de segurança se traduzam em resultados positivos no dia-a-dia da instalação.

#### **2.3.3.9. Gestão de Emergências**

Apesar dos inúmeros procedimentos de segurança, é provável que muitas instalações venham a passar por emergências ao longo do seu ciclo de vida, dada a complexidade da indústria química. Falhas mecânicas, perturbações no processo, erros humanos e sistemas de gestão inadequados podem causar acidentes como explosões, liberação de produtos químicos tóxicos e incêndios, ameaçando vidas humanas, o meio ambiente e a saúde financeira da empresa (MAJID *et al*, 2016).

Dessa forma, visando minimizar as consequências de tais eventos é preciso que a organização desenvolva um Plano de Resposta à Emergência (PRE) que explique em detalhes as ações a serem tomadas quando em caso de emergência (ANAC, 2019A). O PRE deve conter no mínimo um plano que descreva procedimentos para a evacuação imediata dos funcionários em caso de liberação

acidental de produtos químicos tóxicos ou incêndios. Isso significa que o responsável pela instalação precisa instalar e manter um sistema de alarme que alerte imediatamente os funcionários sobre a necessidade de evacuação (OSHA, 1994). Segundo o modelo de gestão de riscos da ANP (2007) o plano de emergência também deve contemplar:

- I. A identificação da instalação e seu responsável legal;
- II. A descrição de todos os acessos à Instalação;
- III. Todos os possíveis cenários acidentais;
- IV. Os sistemas de alerta em vigor;
- V. Meios para comunicar do acidente às partes interessadas, tais como autoridades públicas e a comunidade local;
- VI. A estrutura hierárquica de resposta;
- VII. Os procedimentos de resposta a serem seguidos;
- VIII. Identificação e descrição dos materiais de resposta disponíveis;
- IX. Procedimentos para solicitação de recursos adicionais quando necessário.

De forma a garantir que o PRE cumpra seus objetivos é imperativo que a força de trabalho esteja devidamente treinada, sendo capaz de executar rapidamente as ações estipuladas; e que os equipamentos de alerta e resposta estejam em boas condições operacionais. Em outras palavras, observa-se que o elemento Gestão de Emergências se relaciona diretamente com os elementos “Garantia de Treinamento e Competência” e “Integridade de Ativos e Confiabilidade” abordados em tópicos anteriores.

O treinamento normalmente ocorre no local onde a emergência pode ocorrer e inclui a conscientização dos funcionários a respeito dos pontos estratégicos, rotas de fuga e salvaguardas da instalação, assim como as funções desempenhadas por cada membro da equipe. Para a ANP (2007) é vital que o treinamento também inclu

a realização periódica de exercícios e simulações. Pois deste modo é incentivada uma atuação mais orgânica e veloz durante um possível cenário emergencial.

Equipamentos potencialmente defeituosos ou mantidos incorretamente representam um grande risco para a rotina operacional, pois em caso de emergência podem prejudicar seriamente os esforços de evacuação e contenção. Um alarme defeituoso que não soe por exemplo, pode deixar os trabalhadores expostos a uma alta concentração de produto químico tóxico ou inflamável no ambiente.

A Gestão de Emergências também está intrinsicamente ligada ao processo de identificação de perigos e avaliação de risco conduzido pela empresa. Uma vez que, somente após a identificação dos possíveis cenários de acidente é possível conceber as ações de resposta emergenciais adequadas.

Mesmo que não haja perdas humanas, a falha ou a demora em lidar adequadamente com uma crise pode fazer com que a comunidade questione a competência da empresa em garantir sua segurança, colocando em risco sua licença para operar. Uma gestão de emergências eficaz salva vidas, protege a propriedade e o meio ambiente e ajuda a tranquilizar as partes interessadas que, apesar do acidente, continuam a acreditar que a instalação é bem gerenciada e deve poder continuar operando (AIChE/CCPS, 2007).

#### **2.3.4. Quarto Pilar: Aprendizado com a Experiência**

Apesar dos melhores esforços de uma companhia em garantir operações seguras em suas instalações, acidentes tendem a acontecer devido à alta complexidade das atividades inerentes à indústria química (AMYOTTE *et al*, 2007). Assim, é importante que as organizações desenvolvam métodos que lhes permitam aprender com seus erros, de forma a melhor reconhecer e tratar situações perigosas antes de um desastre. Com relação ao aprendizado com a experiência Sepeda (2006) argumenta que *“no mundo da segurança de processos, uma metodologia de aprendizado eficiente é uma ferramenta essencial. Isto porque, a indústria química não dispõe de tempo e recursos para simular os inúmeros cenários de acidentes possíveis antes de tomar as medidas corretivas ou preventivas cabíveis.”*

Um sistema de aprendizado eficaz deve ter como meta o cumprimento dos seguintes objetivos (SEPEDA, 2006):

- I. Agir como uma plataforma para aprender com outras empresas do setor;
- II. Identificar e compartilhar lições aprendidas de acidentes e quase-acidentes do passado;
- III. Treinar a força de trabalho de forma a evitar que falhas já conhecidas se repitam;
- IV. Disponibilizar informações de maneira que possam ser encontradas facilmente caso necessário.

#### **2.3.4.1. Investigação de Acidentes**

Este elemento determina um conjunto de procedimentos formais para relatar, documentar e investigar acidentes a fim de entender a cadeia de eventos que culminaram no desastre. Busca-se dessa forma, utilizar o conhecimento adquirido para identificar as causas-raiz, os fatores contribuintes e as falhas a fim de prevenir acidentes da natureza similar (OSHA 1994).

Após um acidente uma investigação interna deve ser conduzida por um time multidisciplinar composto por pessoas, normalmente engenheiros, que detenham o conhecimento técnico do processo e outras com habilidades e competências adequadas para investigar o acidente minuciosamente.

No Brasil por exemplo, a ANP, por meio da resolução N° 43/2007, exige o recebimento de um relatório anual informando sobre todos os acidentes ocorridos em operações petrolíferas em território brasileiro. Esse relatório precisa conter informações relativas (ANP, 2007):

- I. Às datas dos acidentes;
- II. Aos tipos de acidentes;
- III. À descrição dos acidentes, explicitando as instalações, processos, equipamentos e atividades envolvidas; assim como as causas e fatores contribuintes identificados e as consequências da ocorrência;
- IV. Às ações corretivas implementadas para minimizar os impactos imediatos do acidente;

- V. Às ações preventivas implementadas para evitar recorrências;
- VI. Às recomendações indicadas ao fim da investigação.

Vale ressaltar que os processos investigativos não são organizados para fins de atribuição de culpa ao pessoal envolvido em um acidente (ANAC, 2019D). Esse tipo de abordagem quase sempre se mostra ineficaz, pois amedronta os funcionários da organização, desestimulando sua a cooperação plena e resultando na recomendação de ações inadequadas. Em outras palavras, as investigações internas não visam atribuir culpa, e sim propor soluções para tratar as causas-raiz e latentes que levaram ao acidente (AIChE/CCPS, 2007).

#### **2.3.4.2. Auditorias**

Conforme o AIChE/CCPS (2007), o elemento Auditorias objetiva avaliar se os elementos do SGS estão funcionando como esperado. Uma auditoria é uma revisão sistemática e independente para verificar a conformidade das operações diárias com os padrões e normas operacionais vigentes. Ela consiste em um processo de revisão e averiguação para garantir consistência e permitir o auditor chegar a conclusões defensáveis.

Auditorias são conduzidas por times selecionados a depender do escopo e das necessidades da avaliação a ser feita. Os times podem ser compostos por especialistas da própria empresa ou contratados, contanto que os membros sejam capazes de realizar a auditoria de maneira imparcial (ANP, 2007). A ANAC (2019B) por sua vez recomenda que a contratação de empresas especializadas deve ser feita somente quando uma organização mostra-se incapaz de garantir a imparcialidade da auditoria interna.

Segundo o manual de SMS da FAA (2015), o processo auditório pode ser classificado em duas categorias de acordo com o objetivo de cada revisão.

- I. Operacional – O objetivo primário desta avaliação é averiguar se a rotina operacional está alinhada com as metas e objetivos estipulados e como está contribuindo para alcançá-los.
- II. Conformidade – Concentra-se em determinar a aderência da força de trabalho às normas, procedimentos e regras vigentes.

Uma auditoria pode envolver a revisão de documentação relevante, inspeção das instalações e equipamentos e até mesmo entrevistas com o pessoal da fábrica. O time auditor deve documentar áreas deficientes e recomendar ações corretivas de forma a sanar as falhas encontradas. Deste modo, cria-se um histórico de descobertas que permite a gerência o acompanhamento da evolução da qualidade operacional (OSHA, 2000).

As auditorias configuram importantes mecanismos de avaliação do SGS, cujo desempenho está intimamente relacionado com os elementos do primeiro pilar da abordagem RBPS. Isto porque a boa vontade das empresas em serem auditadas, reflete diretamente o compromisso delas com um bom desempenho operacional e a motivação da gerência em atingir as metas de segurança estabelecidas. Uma empresa indisposta a se auto avaliar com honestidade e rever seus procedimentos internos, frequentemente torna-se complacente com falhas e desvios operacionais potencialmente perigosos. Sutton (2009) alerta que um dos primeiros sinais de uma cultura de segurança de processos deficiente é a baixa performance das auditorias.

Além disso, as auditorias oferecem outros benefícios, como a identificação de oportunidades de ganhos de produtividade, aumento da conscientização sobre segurança e da confiança no cumprimento das exigências legais (AIChE/CCPS, 2007).

#### **2.3.4.3. Medição e Métricas**

É somente através do uso de indicadores que é possível monitorar o desempenho e resultados do SGS vigente em alcançar as metas de segurança estabelecidas (AIChE/CCPS, 2007).

Um indicador é um instrumento que permite a quantificação de uma determinada característica do processo. De acordo com o programa SGSO da ANAC (2019B) quatro características básicas precisam ser respeitadas durante a definição de um indicador. Ele deve ser: (a) confiável e sensível às alterações do parâmetro mensurado; (b) aplicável a todas as operações da empresa e de fácil identificação e comunicação; e (c) objetivo e conciso; e (d) economicamente viável, quando considerado o método de obtenção de dados.

Somente o monitoramento em tempo real das condições do processo permite a identificação antecipada de desvios, o que possibilita a adoção de medidas

corretivas antes que um acidente ocorra (SINELNIKOV *et al.*, 2015). Neste ponto as métricas e indicadores representam um recurso importante na construção de uma infraestrutura que possibilite a incorporação das lições aprendidas (ANP, 2007).

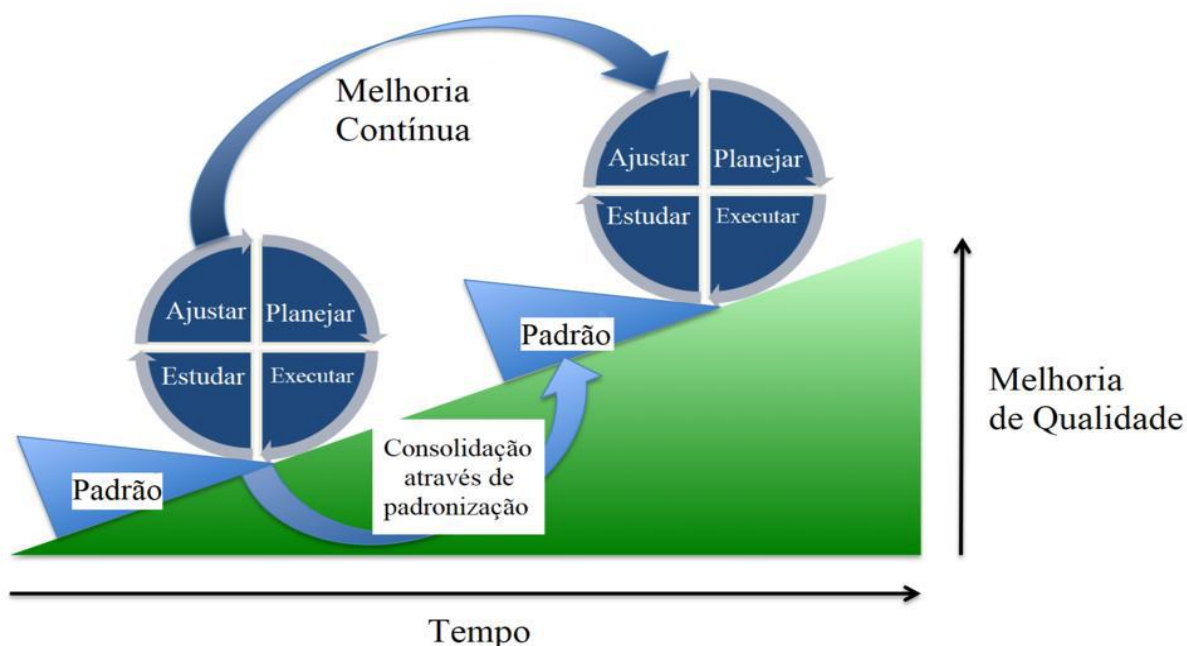
#### **2.3.4.4. Análise de Gestão de Melhoria Contínua**

Neste elemento o objetivo é a avaliação do SGS adotado, a fim de sanar deficiências identificadas e encontrar oportunidades de melhoria que elevem a qualidade do desempenho de segurança (ANAC, 2019B). Este processo normalmente consiste na análise, por um comitê ou comissão de segurança, dos relatórios gerados pelas auditorias e dos indicadores de processos. Uma vez averiguadas, essas informações formam a base a partir da qual as próximas estratégias e metas de segurança serão definidas.

Uma técnica de gestão muito utilizada pelas empresas para garantir a melhoria contínua de seus procedimentos é a metodologia Plan-Do-Check-Act (PDCA) (figura 8). A técnica consiste na aplicação iterativa de quatro etapas simples (VIEIRA FILHO, 2016):

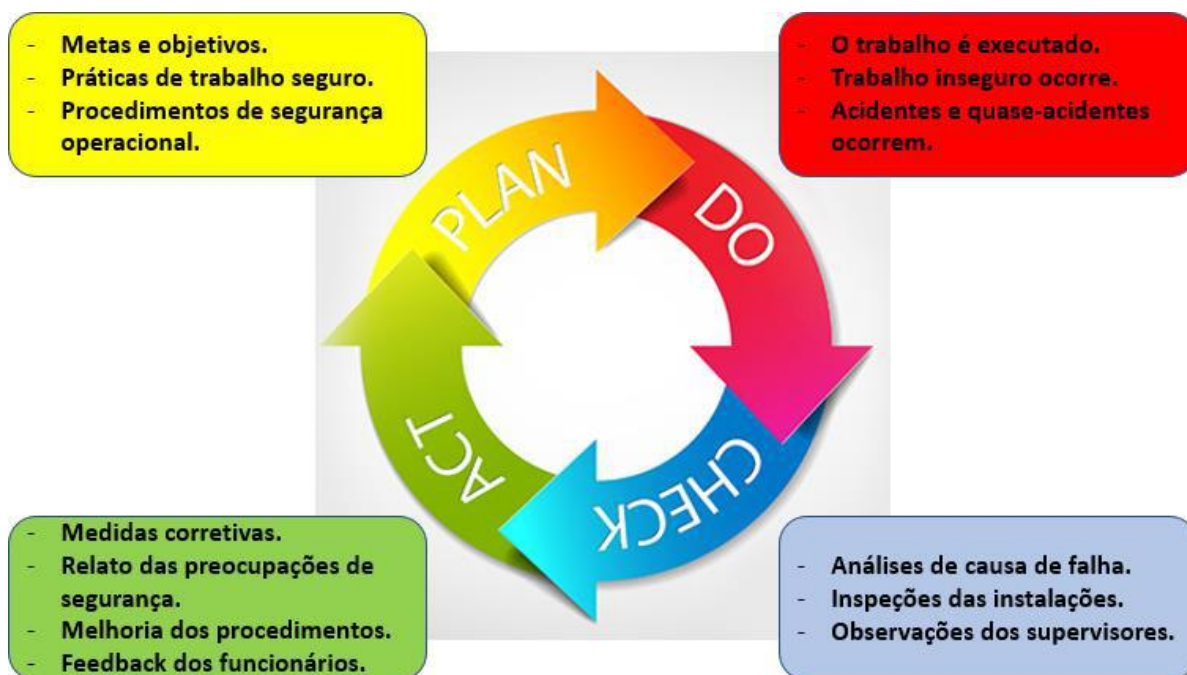
- I. Planejar (Plan) – Etapa na qual são definidos os objetivos, metas e quais os processos necessários para atingi-los.
- II. Executar (Do) – Etapa de execução das ações definidas na fase de planejamento e coleta dos dados referentes aos resultados obtidos.
- III. Checar (Check) – Consiste na avaliação dos resultados obtidos ao confrontá-los com os resultados esperados.
- IV. Agir (Act) – Elaborar ações corretivas que enderecem as diferenças entre os resultados reais e planejados. Investiga-se as diferenças, buscando determinar suas causas.

Figura 8. Representação da Técnica PDCA (Extraído de *RMP Consultancy*, 2013)



A figura 9 exemplifica o funcionamento da técnica PDCA quando aplicada no contexto da segurança de processos.

Figura 9. Ciclo PDCA aplicado a Segurança de Processos (Adaptado de EHS, 2017)  
News, 2017)





## **2.4. Considerações Finais**

Neste capítulo, foram descritos os fundamentos e elementos da Gestão da Segurança de Processo Baseada em Risco e a sua implementação no contexto da indústria química.

Contudo, apesar das regulamentações e do conhecimento consolidado do setor químico, muitas vezes as organizações não conseguem manter padrões elevados de segurança de processos. Elementos fundamentais da gestão de segurança são negligenciados ou ignorados na rotina operacional, aumentando assim a exposição da companhia a um violento acidente.

Nos próximos capítulos são descritos três grandes acidentes da indústria química a partir dos quais é demonstrado, como a negligência e o descuido da organização para com os elementos da gestão RBPS pode criar as condições necessárias para o desastre.

### 3. Arkema Inc. Chemical Plant Fire.

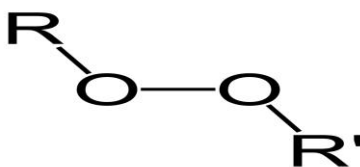
Este capítulo é baseado no relatório oficial emitido pelo Chemical Safety Board (CSB) no dia 24/05/2018. O relatório completo encontra-se disponível em: <https://www.csb.gov/arkema-inc-chemical-plant-fire/>

#### 3.1. Introdução

O Grupo Arkema é um fabricante global de produtos químicos que registra vendas anuais de US\$ 9 bilhões, operando em quase 50 países, com cerca de 20.000 funcionários em todo o mundo (CSB, 2018). A instalação da Arkema em Crosby, no Texas, empregava cerca de 50 pessoas e produzia aproximadamente 30 tipos diferentes de peróxidos orgânicos que eram comercializados principalmente para fabricantes de polímeros (CSB, 2018).

Peróxidos orgânicos (PO) são compostos auto reagentes extremamente reativos que apresentam em sua estrutura uma ligação oxigênio-oxigênio (-O-O-), conhecida como grupo funcional peróxi (figura 10). Quando expostos a altas temperaturas os PO decompõem-se formando radicais livres e liberando energia (WANG *et al.*, 2015).

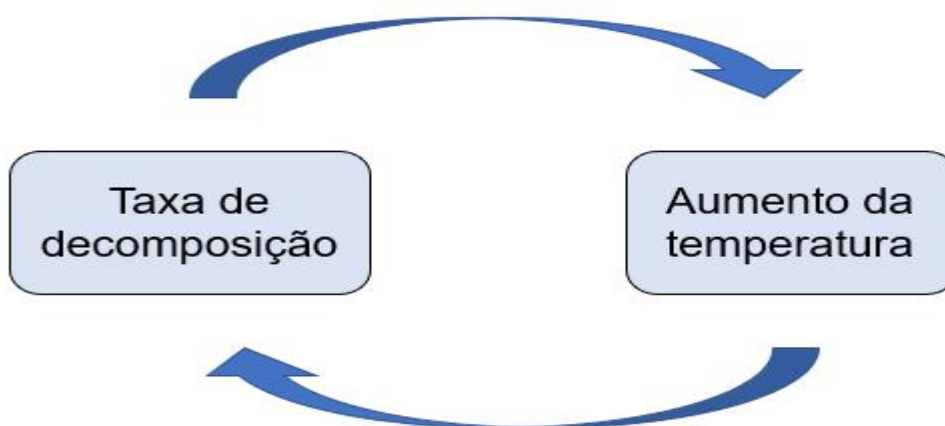
Figura 10. Estrutura genérica dos peróxidos orgânicos (Extraído de UCLA, 2017).



Devido a sua intensa reatividade os peróxidos orgânicos têm grande importância comercial, sendo empregados principalmente como agentes iniciadores de polimerização, catalisadores e agentes endurecedores (PEI *et al.*, 2018). Quando utilizado para estes fins, o PO é diluído de modo que o calor gerado pela decomposição exotérmica seja dissipado com segurança para o meio circundante e não aumente a temperatura do sistema. Se a temperatura se elevar excessivamente ela pode atingir um valor crítico denominado Temperatura de decomposição Auto Acelerada (*Self-accelerating decomposition temperature – SADT*), a partir do qual inicia-se um fenômeno conhecido como *Feedback* Positivo (*Positive Feedback Loop – PFL*) ou seja, decomposição auto acelerada.

O PFL ocorre quando uma perturbação inicial em um sistema resulta em um aumento da magnitude da mesma perturbação inicial (ZUCKERMAN & JEFFERSON, 1996). Ou seja, um evento “A” produz um efeito “B”, que por sua vez produz “A”, e assim sucessivamente. A figura 11 ilustra o funcionamento do PFL em se tratando das propriedades dos peróxidos orgânicos.

**Figura 11. Positive Feedback Loop (Adaptado de ZUCKERMAN & JEFFERSON, 1996).**



Deste modo, a SADT representa um dos parâmetros mais importantes no que tange a caracterização do risco dos peróxidos orgânicos, uma vez que a ocorrência descontrolada do PFL pode resultar em explosões ou incêndios. De acordo com as Nações Unidas (ONU) (1995), a SADT é definida como a temperatura ambiente mais baixa a partir da qual tem início o processo de PFL em peróxidos orgânicos.

Devido a essa propriedade, o manuseio e armazenamento de peróxidos orgânicos exige medidas especiais de controle de temperatura (CSB, 2018). Cada peróxido orgânico possui uma taxa de decomposição e SADT diferentes, e por isso alguns deles precisam ser armazenados em baixas temperaturas por razões de qualidade e segurança. Os peróxidos orgânicos ainda se decompõem a temperaturas abaixo da SADT, mas essa decomposição é lenta demais e não leva ao processo de decomposição auto acelerada. Na tabela 9 estão listadas as faixas de temperaturas onde, após um período de dez horas de armazenamento, houve a decomposição de metade da quantidade de PO inicial.

**Tabela 9. Temperaturas de meia-vida de peróxidos Orgânicos. (Adaptado de *The Society of the Plastics Industry*, 2018)**

Família de peróxidos	Estrutura química	Temperaturas na qual atingiu-se a meia-vida após 10 horas (°C)
Peróxido de dialquil	$R_1-O-O-R_2$	117 - 133
Hidroperóxido	$R_1-O-O-H$	133 - 172
Peróxido de diacila	$R_1-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-O-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-R_2$	20 – 75
Peróxidos de esteres	$R_2-O-O-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-R_1$	49 - 107
Peróxidos de carbonila	$R_1-O-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-O-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-R_2$	49 - 51

### 3.2. Descrição do acidente

No dia 25 de agosto de 2017, o furacão Harvey de categoria 4, vindo do golfo do México, atingiu o estado do Texas nos Estados Unidos. O evento climático foi o mais poderoso ciclone tropical já registrado e o segundo furacão mais caro da história dos EUA, com um prejuízo estimado em 125 bilhões de dólares (QIN *et al.*, 2020). O Harvey também foi diretamente responsável pela morte de 68 pessoas, inundou mais de 200.000 construções e forçou dezenas de milhares de pessoas a evacuarem suas casas (MISURI *et al.*, 2019).

Localizada no condado de Crosby, no Sudeste do Texas (figura 12) o complexo industrial produtor de peróxidos orgânicos chamado “Arkema Crosby”, encontrava-se na rota do furacão. Assim, antecipando a chegada da tempestade, a gerência havia determinado no dia 24 de agosto que todos os processos fossem interrompidos e que os funcionários estavam dispensados do trabalho até a passagem da tempestade. Permaneceriam na planta somente 12 pessoas que juntas compunham uma pequena equipe de resposta a emergência. Esta equipe, formada por 2 membros da gerência da instalação, 4 operadores, 3 técnicos de

manutenção, 2 eletricitistas e 1 especialista em refrigeração, deveria monitorar as condições da planta durante a tempestade e agir de forma a proteger os ativos da companhia. Sua missão contava também com o apoio de uma equipe de especialistas da gerência corporativa, que os auxiliaria no processo de tomada de decisão em caso de algum evento inesperado.

**Figura 12. Localização do condado de Crosby (Extraído de Google Maps, 2019).**



Na época do acidente, a instalação Crosby continha cerca de 110 toneladas de produtos de peróxido orgânico distribuídos em 7 armazéns refrigerados (*Low Temperature Warehouse* – LTW) (CSB, 2017). Era fundamental para a Arkema garantir que esses armazéns mantivessem sua capacidade de refrigeração, uma vez que, dadas as propriedades dos peróxidos e a grande quantidade de material, um aumento na temperatura dos armazéns representava um sério risco de explosão e incêndio.

Além do fornecimento de energia da rede elétrica, os armazéns contavam com três geradores de emergência e um sistema alternativo de refrigeração que utilizava nitrogênio líquido (CSB, 2017). Também estavam à disposição da equipe de resposta onze trailers refrigerados que poderiam abrigar temporariamente os peróxidos caso fosse necessário (Figura 13). Preocupava-os, no entanto, a possibilidade da água atingir os transformadores que alimentavam os armazéns, pois neste caso o procedimento de segurança ditava que se esses equipamentos estivessem em risco, a energia do LTW deveria ser desligada a fim de evitar curtos circuitos.

Esperava-se, dada a intensidade da chuva informada pelos serviços meteorológicos, que algumas estradas próximas seriam inundadas, mas que não haveria água o bastante para danificar os sistemas de fornecimento de energia.

**Figura 13. Imagem da instalação Crosby. A numeração em laranja indica a localização dos geradores enquanto a em azul mostra a dos LTW's (Extraído de CSB, 2017).**



Todavia, com a intensificação da chuva nos dias 27 e 28 de agosto (NHC, 2017), o fornecimento de energia dos sete armazéns precisou ser manualmente interrompido, uma vez que o nível da água já ameaçava atingir os transformadores. Não obstante, a equipe também descobriu ser inviável o uso do sistema de refrigeração alternativo, pois os dutos por onde seria injetado o nitrogênio líquido já estavam submersos. Frente a este cenário, a equipe de resposta optou por transferir o conteúdo de peróxido dos depósitos para os trailers refrigerados disponíveis.

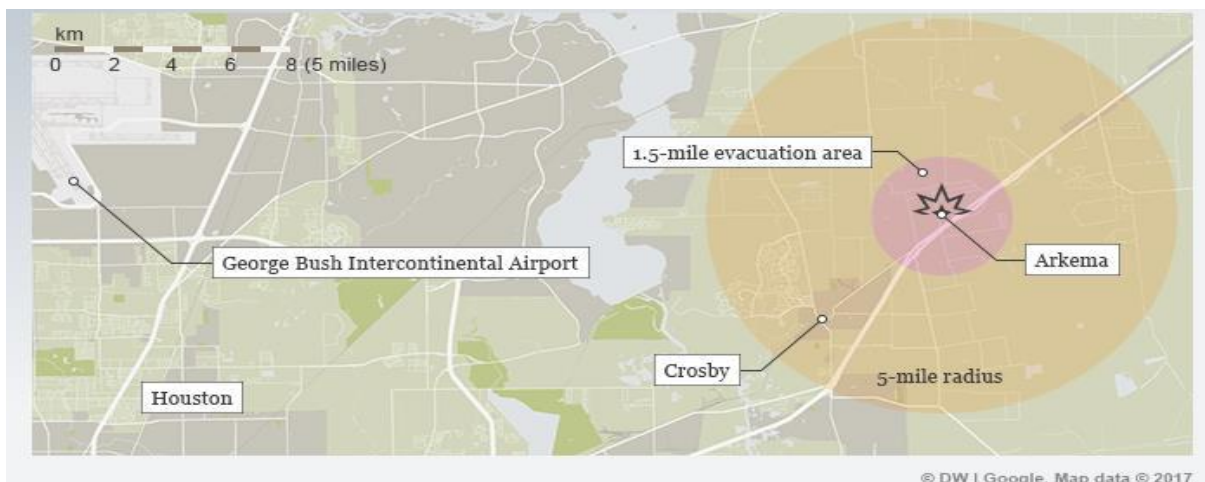
Uma avaliação técnica determinou que se o nível da água continuasse a subir e os trailers refrigerados também perdessem a energia, o peróxido neles armazenado alcançaria a SADT em poucos dias. Diante do possível incêndio as equipes de emergência do Condado de Harris foram alertadas e solicitadas que estivessem prontas para auxiliar na evacuação dos funcionários da equipe de resposta ainda na planta.

Rapidamente o departamento de bombeiros juntamente com a equipe corporativa da Arkema e a EPA estabeleceram uma zona de evacuação de 2.5 km (figura 14), que resultou na remoção de 205 moradores de suas casas e no



estabelecimento de um centro de comando unificado para coordenar e monitorar a situação da instalação.

**Figura 14. Zona de evacuação em torno da planta Arkema Crosby (Extraído de *Deutsche Welle*, 2017).**



Entre os dias 31 de agosto e 2 de setembro, por conta do aumento da temperatura, o peróxido orgânico armazenado decompôs-se, incendiando três dos onze trailers. Como consequência, vinte e uma pessoas precisaram procurar atendimento médico devido a exposição ao vapor e a fumaça liberados (figura 15), após estes terem alcançado uma via pública adjacente. No dia seguinte, com a diminuição da enchente, foi realizada uma queima controlada de todos os trailers remanescente que finalmente pôs fim ao acidente.

A evacuação foi finalizada por volta da 1 da manhã, após os dados do monitoramento do ar não indicarem quaisquer níveis de produtos químicos acima do considerado normal para a região.

**Figura 15. Coluna de fumaca proveniente do incêndio na planta Arkema. (Extraído de *Chemical & Engineering News*, 2017).**



### **3.3. Considerações**

Analisando a cadeia de eventos descrita, identifica-se que falhas na implementação de 3 elementos da abordagem RBPS levaram ao desastre: (i) Competência em Segurança de Processos; (ii) Gestão de Emergências; e (iii) Identificação de Perigos e Análise de Risco.

#### **3.3.1. Falhas no elemento “Competência em Segurança de Processos”**

Um estudo publicado pela sua própria seguradora em 2016 (CSB, 2017) mostrava que toda a planície onde se encontrava a instalação era vulnerável a eventos climáticos com tempo e recorrência<sup>3</sup> entre cem e quinhentos anos. Todavia as perdas ocasionadas pela enchente demonstram que a Arkema desconhecia essas informações e por conseguinte não as incorporou em sua análise de risco e procedimentos de segurança, conforme orienta o terceiro elemento do primeiro pilar da estratégia RBPS. Ele recomenda que as organizações devem buscar aprender o máximo possível sobre os aspectos que tangem suas operações a fim de preencherem as lacunas de conhecimento que possuem, e assim, desenvolverem rotinas de segurança mais abrangentes e confiáveis. Conclui-se que esta lacuna no conhecimento da instalação Crosby acerca das características da região onde se localizava, levou à elaboração de um plano de segurança incompatível com os riscos aos quais estava exposta.

Contudo, vale ressaltar que o furacão Harvey foi um evento de proporções extraordinárias, para o qual o estado do Texas de forma geral não estava preparado. Considerado um evento com tempo de recorrência de 1000 anos, ele é tido como o maior evento de tempestade da história dos Estados Unidos desde o início das medições confiáveis de chuva em 1880 (NHC, 2017).

#### **3.3.2. Falhas no elemento “Identificação de Perigos e Análise de Risco”**

Apesar de estar em uma região de ocorrência de tempestades e alagamentos, sua avaliação de risco não contemplou corretamente as consequências que fortes inundações trariam para a instalação, e assim, ações que garantissem o funcionamento dos sistemas de refrigeração não puderem ser tomadas. Misuri

---

<sup>3</sup> Tempo de recorrência é a medida utilizada para medir a magnitude de fenômenos naturais como chuvas, nevascas, etc. Ele representa o intervalo de tempo estimado entre ocorrências climáticas de igual magnitude, de forma que quanto maior o tempo de recorrência maior a intensidade do fenômeno.



(2019) explica que salvaguardas e componentes cujo funcionamento depende do fornecimento de energia, são os itens mais vulneráveis durante enchentes e tempestades porque são geralmente instalados em nível térreo e, assim correm o risco de serem submersos durante uma inundação. Desta forma, percebe-se que se medidas atenuantes como a instalação de um sistema de drenagem, a elevação das edificações e a proteção dos sistemas elétricos dos armazéns refrigerados e dos geradores e transformadores, tivessem sido propostas pelo HIRA conforme descrito neste trabalho, a perda de energia na planta e os subsequentes incêndios seriam altamente improváveis. A análise de risco realizada pela Arkema falhou ao não identificar corretamente todos os possíveis cenários de risco aos quais a planta de Crosby estava sujeita.

Outro fator importante, explicitado pelos eventos que transcorreram entre os dias 27 e 28 de agosto, mostra que também houve erros quanto a aplicação correta das técnicas de avaliação de risco. A mesma água da enchente que forçou a interrupção do fornecimento principal de energia, também inutilizou os geradores reservas, o sistema de refrigeração por nitrogênio líquido e os trailers refrigerados. Deste modo, observa-se que o mesmo evento iniciador foi capaz de ultrapassar todas as camadas de proteção vigentes, mostrando que as salvaguardas propostas possuíam a mesma vulnerabilidade em comum. Para serem eficientes, é preciso que as camadas de proteção sejam completamente independentes umas das outras. A negligência com este princípio básico da técnica LOPA (ALVES, 2007), não considerado no HIRA da Arkema, resultou em um plano de segurança vulnerável aos efeitos de uma inundação.

### **3.3.3. Falhas no elemento “Gestão de Emergências”**

Percebe-se estudando a cadeia de eventos que levaram ao acidente, que muito provavelmente não havia um plano de resposta específico para lidar com grandes enchentes. Tomando por base os requisitos propostos pelo elemento do RBPS para a elaboração do PRE, é possível apontar diversas deficiências no plano de emergência da instalação em Crosby.

Primeiramente, nota-se que importantes equipamentos da planta não eram projetados para funcionar sob as circunstâncias da emergência. Isto porque, após a intensificação da chuva no dia 28 de agosto tanto o sistema de comunicação e monitoramento remoto, quanto as empilhadeiras usadas para mover a carga de PO

tornaram-se inoperantes. A estratégia baseada no risco, preconiza ser fundamental que o responsável pela planta disponibilize e aponte no PRE quais equipamentos e sistemas estarão disponíveis e são confiáveis durante a emergência. Pois somente dessa forma as equipes em campo são capazes de executar as ações de contenção necessárias com rapidez e eficiência. No plano da planta em Crosby, contudo, não houve esta preocupação e a falha desses sistemas e equipamentos críticos prejudicou muito os esforços da equipe de resposta para manter os peróxidos refrigerados

Adicionalmente, observa-se que com o aumento do nível da água os membros da equipe de resposta não conseguiram mais se locomover livremente pela instalação e tampouco detinham meios para evacuar imediatamente a planta caso fosse necessário. Se o plano proposto pela Arkema fosse elaborado segundo os requisitos do RBPS, esta grave deficiência não ocorreria. Isto porque, para a abordagem baseada em risco o objetivo primário de um PRE é proteger o bem-estar e a integridade física de todas as pessoas na planta. Isto implica que qualquer PRE elaborado segundo a abordagem RBPS, deve ser elaborado de forma a garantir primariamente a retirada imediata de todas as pessoas do local da emergência se necessário.

Em vista disso, fica claro que o plano desenvolvido para lidar com a emergência era intrinsecamente falho e, portanto, não impediu que o PO se incendiasse. Assim, se a Arkema tivesse considerado os requisitos propostos pela estratégia RBPS para a elaboração de seu plano de emergência, o resultado seria um PRE mais eficiente e com maiores chances de sucesso, uma vez que todas as falhas apontadas seriam sanadas com a adoção de suas orientações.

## 4. Imperial Sugar Company Dust Explosion and Fire

Este capítulo é baseado no relatório emitido pelo Chemical Safety Board (CSB) no dia 07/02/2007. O relatório completo pode ser acessado no endereço: <https://www.csb.gov/imperial-sugar-company-dust-explosion-and-fire/>.

### 4.1. Introdução

Fundada em 1843 a *Imperial Sugar Company* (ISC) (figura 16), sediada em *Sugar Land*, Texas, é a mais antiga produtora de açúcar ainda em atividade no Texas. Desde a sua criação no século XIX a empresa passou por diversos donos, até ser comprada e incorporada ao portfólio do grupo holandês *Louis Dreyfus Company*. Com uma produção anual superior a 1 milhão de toneladas em 2007 era uma das maiores produtoras de açúcar refinado dos EUA (CSB, 2009).

**Figura 16. Prédio administrativo da ICS ao lado dos 3 silos usados para armazenar açúcar granulado (Extraído de *City Seeker*, 2007).**



Em fevereiro de 2007, a companhia possuía três instalações responsáveis pelo processamento, refino e armazenamento do açúcar e outros itens da cadeia produtiva. Os produtos oferecidos pela empresa consistiam em açúcar em pó, açúcares especiais e líquido que eram vendidos principalmente para padarias industriais e mercearias.

A maior unidade da ISC, construída em 1917 e adquirida em 1997 da *Savannah Foods and Industries, Inc*, localizava-se em *Port Wentworth* no estado da

Georgia. Na época do acidente ela possuía mais de 350 funcionários e produzia anualmente cerca de 700.000 toneladas de açúcar.

Açúcar granulado recém-chegado da usina era transportado por uma série de esteiras e roscas até três grandes silos, onde era armazenado. Cada silo media 12 metros de diâmetro e 32 metros de altura, com capacidade para armazenar até 2300 toneladas de açúcar (CSB, 2009).

Contudo, o desgaste e manutenção inadequada dos equipamentos, e também o fato do açúcar ser transportado exposto ao ambiente, causavam derramamentos diários de produto das esteiras transportadoras (figura 17). Esses derrames não só geravam acúmulos de açúcar em diversas áreas da planta, como também suspendiam as menores partículas do material formando verdadeiras “nuvens” de açúcar em alguns locais.

---

**Figura 17. Esteiras transportadoras de açúcar cobertas com o produto (Extraído de CSB, 2009).**



Tais “nuvens” são extremamente perigosas, pois o material disperso no ar sob a forma de pó ou poeira é capaz de entrar em ignição (figura 18) e explodir violentamente (CCPS, 2018). Eventos dessa natureza são chamados de explosões de poeira e podem ser causados por diversos tipos de materiais como sólidos orgânicos (madeira, açúcar, farinha), inorgânicos não-metálicos e até metais (SALZANO, 2014).

De acordo com a *Occupational Safety and Health Administration* poeiras combustíveis são definidas como “(...)um material sólido composto de partículas, que

independentemente do seu tamanho, forma ou composição química, apresente risco de incêndio ou deflagração quando suspenso no ar ou em algum outro meio oxidante em várias concentrações.” (OSHA)

Como a combustão é um evento que ocorre na superfície de um material, onde pode reagir com o oxigênio, isso faz com que as poeiras sejam muito mais inflamáveis que os materiais a granel. Por exemplo, uma esfera de 1 quilograma de um material combustível com uma densidade de  $1 \text{ g/cm}^3$  teria cerca de 12,4 cm diâmetro e uma área de superfície de  $0,048 \text{ m}^2$ . No entanto, se fosse dividida em partículas esféricas de poeira, com  $50 \text{ }\mu\text{m}$  de diâmetro (aproximadamente do tamanho das partículas de farinha), teria uma superfície de  $120 \text{ m}^2$ . Essa área de superfície muito aumentada permite que o material queime muito mais rapidamente, e a massa extremamente pequena de cada partícula possibilita a ignição com muito menos energia que o material a granel, pois não há perda de calor por condução dentro do material (ECKHOFF, 1997).

**Figura 18. Explosão controlada de poeira (Extraído de *Scientific Gems*, 2014).**



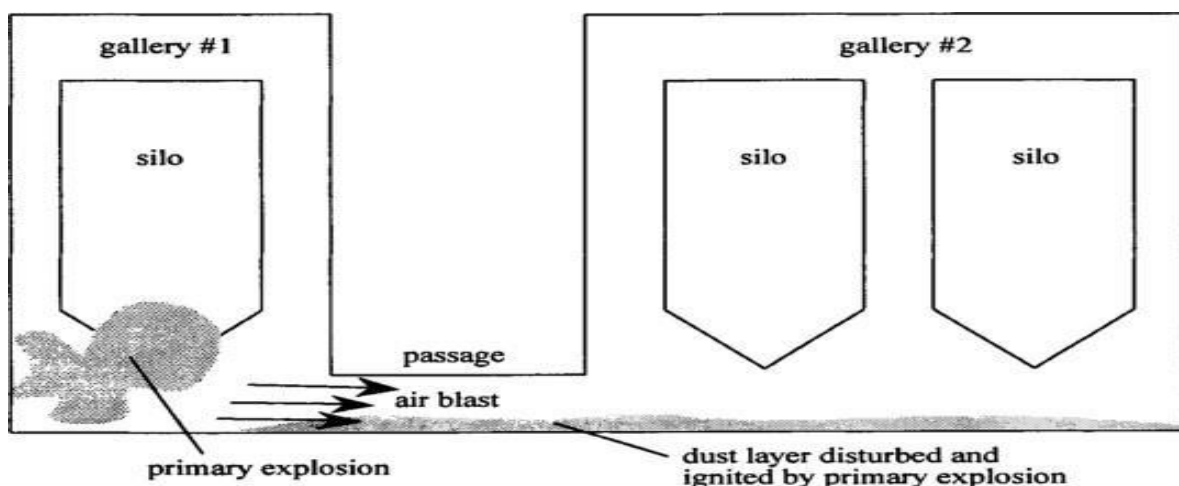
Quando essa mistura de combustível e ar é inflamada, especialmente em um espaço confinado, como um armazém ou silo, é criado um aumento significativo de pressão. Dutos ou equipamentos fechados onde há materiais particulados são especialmente suscetíveis a este perigo, tendo estes sido os locais de origem da maioria das explosões catastróficas de poeira registradas. Nesses locais, na ausência de ventilação ou filtros, a concentração do material disperso pode facilmente superar o limite inferior de explosividade<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Menor concentração de uma substância que misturada com o ar forma uma mistura inflamável.

Outro fator importante que aumenta muito a severidade de explosões de poeira é a ocorrência subsequente de explosões secundárias. Uma deflagração localizada, possivelmente pequena, ocorre em uma parte da planta. O deslocamento de ar associado suspende e arrasta as camadas de poeira acumuladas nos pisos e paredes das galerias e passagens que conectam diferentes partes da planta (figura 19). Essa poeira adicional, agora suspensa, acaba por alimentar a explosão inicial desencadeando ignições secundárias (ECKHOFF, 2019). Essas explosões podem ser muito graves, pois em espaços confinados como dutos e calhas transportadoras o incêndio pode propagar-se por longas distâncias e atingir várias áreas da planta rapidamente (JONES, 1999).

**Figura 19. Mecanismo de ocorrência de explosões secundárias de poeira combustível**  
(Extraído de *Fluidization, Solids Handling, and Processing*, 1999).



Para ocorrer uma ignição de poeira é necessário que haja simultaneamente cinco componentes chaves no ambiente onde o material está suspenso. De forma análoga ao conhecido “triângulo do fogo”, esses fatores são representados em um pentágono para fácil visualização (figura 20). Os componentes são:

- I. Material particular fino suspenso no ar,
- II. Oxigênio,
- III. Confinamento da poeira,
- IV. Fonte de ignição,
- V. Concentração da poeira acima do LEL.



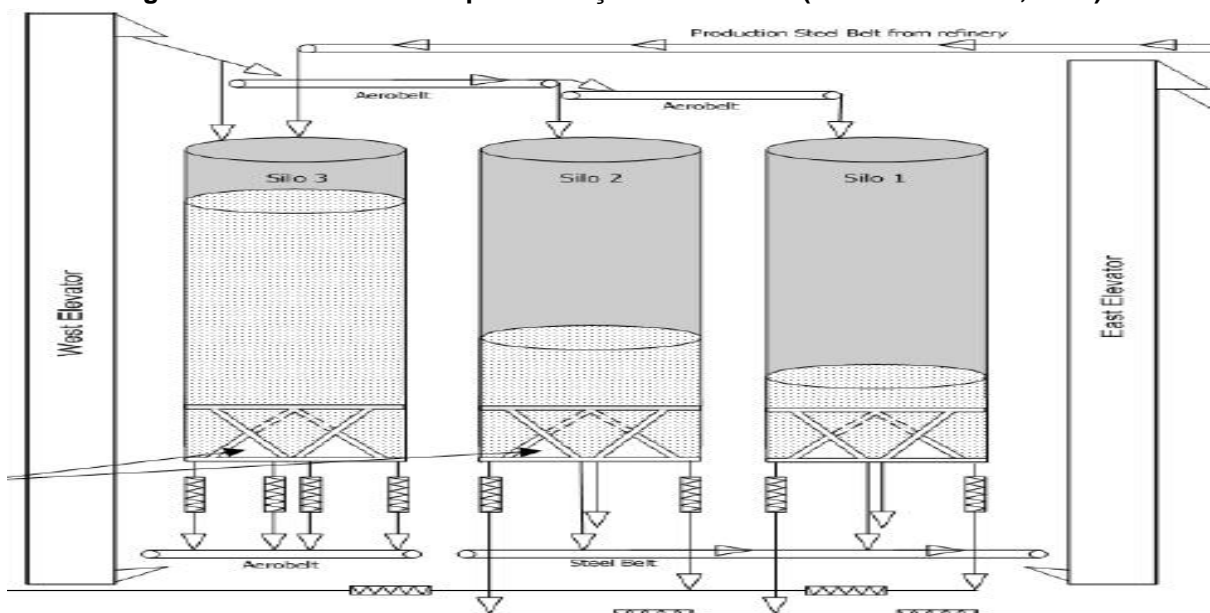
Figura 20. Pentágono da explosão de poeira (Extraído de Robovent, 2020).



#### 4.2. Descrição do acidente

O açúcar armazenado nos silos era transportado por um complexo sistema de esteiras, baldes e correias de aço. O produto era inicialmente despejado por calhas em uma correia transportadora com cerca de 80 cm de largura e 24 m de comprimento localizada logo abaixo dos silos. Esta correia então carregava o material dos silos 1 e 2 até um elevador de onde o açúcar seguiria para as etapas subsequentes da produção (figura 21).

Figura 21. Sistema de transporte de açúcar dos silos. (Extraído de CSB, 2009)



Segundo relatos dos funcionários (CSB, 2009) aglomerados de açúcar frequentemente ficavam presos nas calhas durante a operação de transporte, o que com o tempo acabava entupindo-as, diminuindo assim o fluxo de açúcar despejado. Dessa forma, para manter a operação, os trabalhadores precisavam periodicamente retirar esses grumos com o auxílio de longas hastes de metal.

Por ser transportado exposto ao ambiente, o açúcar estava constantemente sujeito a contaminações ocasionadas por detritos que eventualmente caíam na correia. Assim, visando sanar esse problema, a ICS instalou uma estrutura de aço composta por uma série de painéis removíveis que revestia toda a correia transportadora (figura 22). Contudo, essa nova estrutura não contava com um sistema de remoção de poeira ou painéis de ruptura<sup>5</sup>.

**Figura 22. Revestimento de aço instalado sobre a esteira transportadora. (Extraído de USCSB, 2009)**



Dessa forma, no começo da noite do dia 07 de fevereiro de 2008, um aglomerado de açúcar que havia sido retirado pelos funcionários alojou-se entre a calha de descarga do silo 1 e a correia de aço em movimento logo abaixo (CSB, 2009). Este aglomerado agiu como uma espécie de “represa”, impedindo a passagem do açúcar oriundo do silo 2, derramando-o no chão e suspendendo as partículas mais finas do material (figura 23). Ao entrar em contato com uma superfície

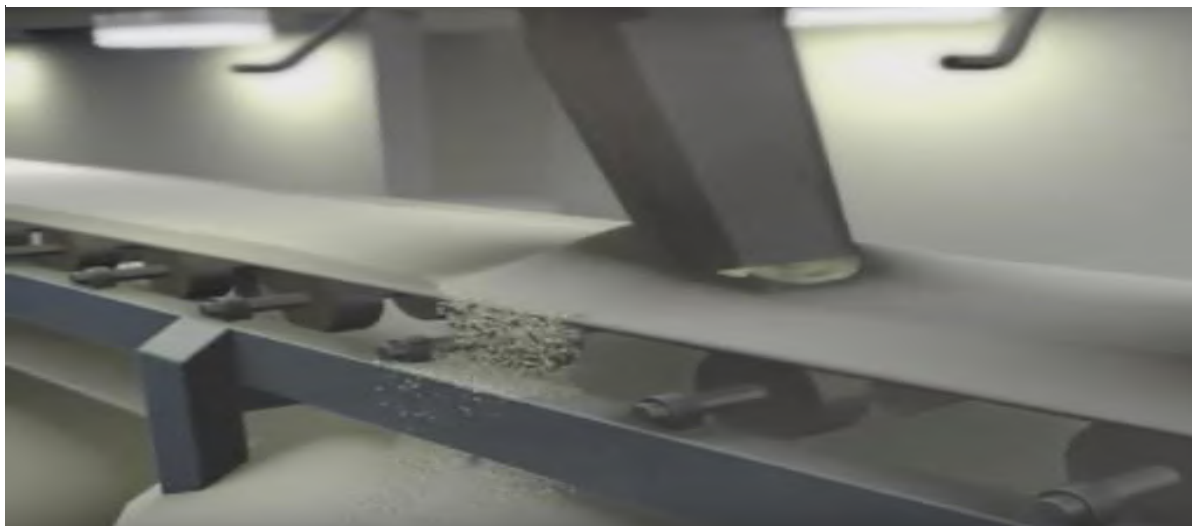
---

<sup>5</sup> Um painel de ruptura é um dispositivo de segurança usado para proteger equipamentos contra aumentos súbitos de pressão. Quando na ocorrência de uma explosão o painel rompe-se, permitindo que a pressão excessiva escape.



aquecida ou centelha elétrica, a então formada nuvem de poeira se inflamou, resultando em uma poderosa explosão.

**Figura 23. Açúcar derramando da esteira transportadora (Extraído de USCSB, 2016).**



A explosão avariou severamente a edificação de empacotamento Sul. O abalo danificou o piso e as paredes de concreto do edifício, espalhou detritos superaquecidos e acabou suspendendo no ar grande quantidade de material particulado oriundo dos acúmulos de açúcar espalhados pela planta. Essa abundância de material particulado deflagrou uma sequência de explosões secundárias que destruíram grande parte das edificações de empacotamento Norte e Sul (CSB, 2009). Isto porque, além de criar novas nuvens de poeira, o açúcar também agiu como combustível, alimentando as chamas do incêndio (NASA, 2011). A figura 24 ilustra o incêndio nas instalações de empacotamento logo após a série de explosões.

**Figura 24. Prédio de empacotamento completamente tomado pelas chamas (Extraído de *New York Daily News*, 2008).**



Os funcionários pouco puderam fazer para se protegerem, pois os sistemas de combate à incêndios assim como os de abastecimento de energia haviam sido inutilizados pelas ondas de choque. Para escaparem do incêndio, os trabalhadores se viram forçados a se guiar no escuro, em meio às chamas e passagens bloqueadas por destroços (CSB, 2009).

Em menos de 10 minutos após a primeira explosão as equipes de emergência já se encontravam no local e haviam iniciado as operações para conter as chamas e resgatar os trabalhadores presos. Foi somente no dia seguinte, 8 de fevereiro, após várias horas de trabalho que os focos de incêndio nos edifícios foram controlados (figura 25). Foi preciso, contudo, outros sete dias até que os bombeiros conseguissem apagar o fogo dos enormes silos (NASA, 2011).

**Figura 25. Instalação da ICS, 10 dias após o acidente (Extraído de CSB, 2009).**



Ao todo, 36 funcionários foram gravemente feridos e 14 morreram, tendo a última vítima falecido no hospital 6 meses depois do acidente. Cerca de 70 trabalhadores, no entanto, conseguiram escapar ilesos (CSB, 2009).

#### **4.3. Considerações**

Analisando a cadeia de eventos descrita, identifica-se que falhas na implementação de 6 elementos da abordagem RBPS levaram aos ao desastre: (i) Garantia de Treinamento de Competência; (ii) Integridade de Ativos e Confiabilidade; (iii) Cultura de Segurança de Processos; (iv) Gestão de Mudanças; (v) Realização das Operações; e (vi) Investigação de acidentes.

#### **4.3.1. Falhas no elemento “Garantia de Treinamento de Competência”**

Entrevistas com funcionários revelaram que o risco criado pelo acúmulo de poeira não era efetivamente abordado pelo treinamento de segurança fornecido pela companhia. Uma extensa revisão dos materiais de treinamento também mostrou que todas as menções à poeira combustível ou ao perigo representado por acúmulo de açúcar eram antigas e não estavam incorporadas ao programa de treinamento oferecido na época do acidente. Em vista disso, fica claro que por estar em desacordo com os princípios do método RBPS, o treinamento elaborado pela ICS não era eficiente, uma vez que não instruía a força de trabalho a respeito de todos os riscos envolvidos em suas atividades. Além de transmitir o conhecimento técnico necessário para o cumprimento de suas funções, é fundamental que os funcionários entendam sobre todos os riscos aos quais estão expostos. Como resultado, os funcionários não estavam preparados para identificar e agir de acordo com as melhores práticas operacionais de segurança previstas.

Para a abordagem RBPS, uma força de trabalho bem treinada é umas das maiores defesas de uma organização contra acidentes. Um treinamento adequado garante que os funcionários, uma vez cientes dos riscos aos quais estão expostos, saberão identificar e impedir condições inseguras no dia-a-dia da operação.

#### **4.3.2. Falhas no elemento “Integridade de Ativos e Confiabilidade”**

Uma das exigências mais importantes da estratégia RBPS, é a capacidade da organização em manter seus equipamentos e sistemas em boas condições operacionais. Contudo, ao analisar o acidente, fica claro que a negligência da ICS para com este elemento foi um dos principais fatores contribuintes para a explosão. O sistema de coleta de poeira, essencial para o controle de nuvens explosivas, estava em mau estado de conservação. Verificou-se que muitos equipamentos continham furos devido ao desgaste por corrosão, enquanto outros estavam instalados incorretamente ou subdimensionados (NASA, 2011). Vários dutos de transporte de poeira também foram encontrados completamente obstruídos com pó de açúcar.

Conclui-se que se as rotinas de manutenção fossem executadas de maneira eficiente e programada, a fim de garantir a confiabilidade operacional e a integridade de seus equipamentos conforme exigido pelo método RBPS, os derrames e

acúmulos de açúcar seriam significativamente reduzidos e as explosões secundárias altamente improváveis.

#### **4.3.3. Falhas no elemento “Cultura de Segurança de Processos”**

Pode-se dizer que uma das principais causas do acidente foi a ausência de um compromisso sério com a segurança e excelência operacional, por parte da gerência da planta. Como discutido, não é possível conceber uma operação verdadeiramente segura quando não há o reconhecimento da segurança operacional como um valor intrínseco da companhia, pois não haverá um esforço para o alcance das metas estabelecidas. Embora a ICS soubesse dos riscos representados pelo acúmulo de açúcar e da importância de minimizá-los (CSB, 2009), a gerência da planta em *Port Wentworth* não propôs ações corretivas que efetivamente alcançassem esses objetivos.

A gerência da Imperial Sugar aceitou uma condição mais arriscada e não corrigiu as condições perigosas em curso, o que sugere que suas decisões priorizavam a produção ou custo antes da segurança. Segundo a metodologia RBPS, esse é um sintoma de uma cultura de segurança mal desenvolvida.

#### **4.3.4. Falhas no elemento “Gestão de Mudanças”**

As consequências da instalação da cobertura metálica sobre a esteira que transportava o açúcar no silo, indicam que a ICS não possuía um procedimento eficiente para gerir as alterações em seus processos. A metodologia RBPS orienta que para serem realizadas de forma segura todas as mudanças realizadas na instalação, sejam elas temporárias ou permanente, devem ser acompanhadas de um processo que identifique os perigos e riscos a elas associados.

Uma vez que a ICS não realizou essa avaliação de risco e, portanto, não reconheceu como o novo espaço confinado aumentava as chances de ocorrência de explosões de poeiras, as salvaguardas necessárias não foram inseridas. A instalação de um sistema de remoção de poeira na cobertura da esteira transportadora por exemplo teria impedido a formação nuvens explosivas no espaço confinado e o que teria tornado uma explosão muito improvável.

#### **4.3.5. Falhas no elemento “Realização das Operações”**

A instalação possuía um plano de limpeza que atividades diárias, semanais e mensais com o objetivo de eliminar o acúmulo de material particulado nas áreas produtivas (CSB, 2009). Todavia, segundo os relatos dos funcionários, as atividades de limpeza eram executadas de forma ineficiente. Superfícies difíceis de alcançar eram negligenciadas e o cronograma era frequentemente ignorado pelas equipes responsáveis.

Diante desse cenário, ressalta-se a importância do elemento constituinte “Realização de Operações”. Ele estabelece que em um SGS eficiente deve-se buscar executar as tarefas de forma padronizada, buscando sempre os melhores resultados possíveis. Pois, somente deste modo é possível identificar desvios de *performance* e garantir a adesão, por parte da força de trabalho, às políticas de segurança e boas práticas da organização. Conclui-se, que se os responsáveis pela planta tivessem uma política rígida de consistência operacional, direcionada à obtenção dos resultados previstos conforme exige o RBPS, haveria tido maior esforço dos responsáveis em remover o açúcar espalhado, o que teria diminuído muito o risco de explosões secundárias.

#### **4.3.6. Falhas no elemento “Investigação de acidentes”**

Na época do desastre a planta em *Port Wentworth* já acumulava um longo histórico de acidentes. Eventos como incêndios e até mesmo pequenas explosões de poeira já haviam ocorrido nas instalações da Imperial Sugar sem nunca causar fatalidades ou danos significativos aos equipamentos (CSB, 2009). Entretanto, apesar das causas desses acidentes serem continuamente identificadas e atribuídas às suas próprias práticas operacionais e rotinas de limpeza, a ICS não agiu de forma a tratar tais deficiências.

Nota-se a partir dessas informações, que o SGS da *Imperial Company* estava em desacordo com as diretrizes do RBPS, e assim era falho quanto às suas políticas de prevenção de eventos recorrentes. Estas diretrizes estabelecem que a adoção de medidas que evitem a recorrência de acidentes é um dos principais objetivos das investigações orientadas segundo os princípios do RBPS. Assim, por não ter sido capaz de alterar seus procedimentos com base nos resultados de suas próprias investigações, as práticas perigosas que culminaram no desastre permaneceram na rotina operacional da instalação.

## 5. Sterigenics Ethylene Oxide Explosion

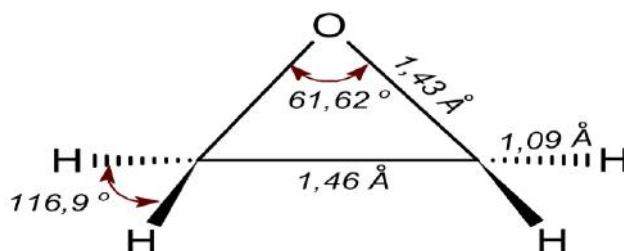
Este capítulo tem por base o relatório oficial de acidentes emitido pelo CSB em 30/06/2006, disponível em <https://www.csb.gov/sterigenics-ethylene-oxide-explosion/>.

### 5.1. Introdução

Sterigenics International, Inc. é uma empresa multinacional especializada no fornecimento de serviços de esterilização médica e alimentícia. No começo de 2019 a empresa empregava cerca de 1400 funcionários e detinha 47 instalações distribuídas em 13 países, nove das quais utilizam Óxido de Etileno (OE) como agente de esterilização (OWLER, 2019).

O óxido de etileno é um composto orgânico extremamente reativo muito utilizado como intermediário químico e esterilizante de produtos médicos e alimentícios. A reatividade dessa molécula deve-se ao anel em sua estrutura (figura 26), que devido a sua alta tensão angular, é muito instável e propenso a romper-se. É extremamente inflamável, sendo comercializado normalmente como líquido refrigerado misturado com Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). Nitrogênio (N<sub>2</sub>) ou Hidroclorofluorocarbonos (HCFC) para reduzir sua inflamabilidade.

Figura 26. Estrutura química do Óxido de Etileno (Extraído de Wikiwand, 2019).



Por ser uma substância altamente tóxica e inflamável seu manuseio exige rígidos controles. Nos Estados Unidos (EUA) sua utilização é regulamentada pela OSHA de acordo com os padrões: o 29 CFR 1910.1047 e PSM Standard 29 CFR 1910.19, assim como pela EPA através do *Clean Air Act* (CAA).

Já no Brasil as atividades que envolvam o OE são regulamentadas pela Portaria Interministerial nº482, de 16 de abril de 1999, publicada pelo ministério da saúde e do trabalho. Ela preconiza que o operador da instalação é o responsável pela adequação da operação aos requisitos técnicos exigidos, bem como todos os outros aspectos por ela determinados.

## 5.2. Esterilização com Óxido de Etileno

Considera-se que um material está esterilizado quando, após ser submetido à processos físico-químicos bactericidas, microrganismos contaminantes não possam ser mais detectados em um meio de cultura padrão oriunda desse material. Na área da saúde um produto somente pode ser dado como estéril quando a chance de sobrevivência dos micróbios contaminantes é menor do que 1:1.000.000 (GRAZIANO *et al*, 2000).

A esterilização com OE é atualmente um dos métodos mais comumente usados no setor de saúde devido a seus efeitos não prejudiciais para instrumentos e dispositivos delicados e por sua compatibilidade com uma ampla variedade de materiais. É adotado principalmente na esterilização de instrumentos sensíveis a altas temperaturas ou produtos químicos abrasivos, tais como eletrônicos, equipamentos ópticos, papel, borracha e plásticos (FINKIEL, 2013).

Ao reagir com as proteínas e o DNA do microrganismo o OE causa a substituição de um átomo de hidrogênio por um radical hidroxietil. Esta reação de alquilação altera a forma dessas macromoléculas, interrompendo as reações responsáveis pelas funções vitais da célula (MOERMAN & MAGER, 2016).

O processo de esterilização conduzido pela Sterigenics em Ontário consistia no posicionamento dos produtos dentro de uma câmara de aço inoxidável. Em seguida era aplicado um vácuo e injetado OE puro até que fosse atingida a concentração de esterilização. Após algumas horas de exposição uma bomba remove uma parte do OE para um lavador de gases, onde uma solução ácida remove o produto. Ar e Nitrogênio são então injetados na câmara, onde se misturam com o OE remanescente na câmara. A mistura gasosa é então bombeada para o lavador ácido. Esse processo de lavagem gasosa é repetido diversas vezes, sendo uma etapa fundamental para a diminuição da concentração de OE para níveis abaixo do LEL<sup>6</sup>. O OE residual é removido por um respirador nos fundos da câmara acionado automaticamente por uma pequena abertura na porta. O fluxo de ar carrega o produto químico até um oxidador catalítico, passando no percurso por uma chama acesa. Somente então é seguro para os operadores abrirem completamente a câmara e retirar os equipamentos esterilizados (CSB, 2009).

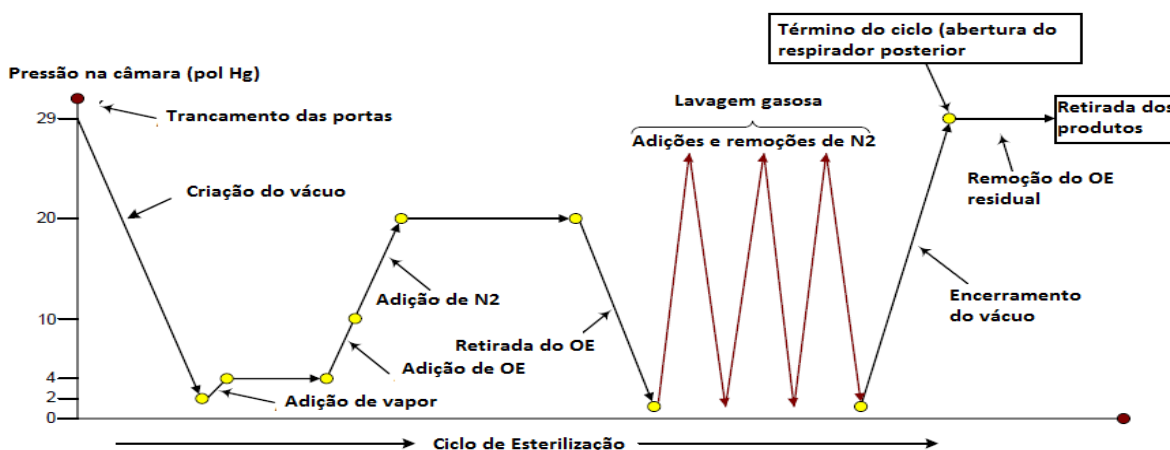
---

<sup>6</sup> Para o Óxido de Etileno esse valor é 2,7%.



Cada tipo de produto (por exemplo, tubulação, cateteres, recipientes, ataduras, seringas, etc) requer um ciclo de tratamento único para garantir a esterilização. Dessa forma as variáveis de controle do ciclo incluem a concentração de EO, tempo de exposição, temperatura, umidade, vácuo durante esterilização e a lavagem de gás e aeração necessários para remover o OE residual (STERIS, 2019). A figura 27 ilustra as etapas do ciclo de esterilização adotado pela Sterigenics.

**Figura 27. Ciclo de esterilização adotado na Sterigenics Ontario (Adaptado de CSB, 2004).**



### 5.3. Descrição do acidente

Por volta das 1:30 da manhã do dia 19 de agosto de 2004, os funcionários da unidade da Sterigenics em Ontario foram alertados pelo sistema de controle sobre uma falha na câmara de esterilização 7. Para determinar a causa exata do problema o operador responsável realizou da sala de controle, as rotinas padrões de verificação do equipamento. Contudo, não tendo sido capaz de identificar a origem da falha relatou o problema ao supervisor que decidiu abortar o ciclo.

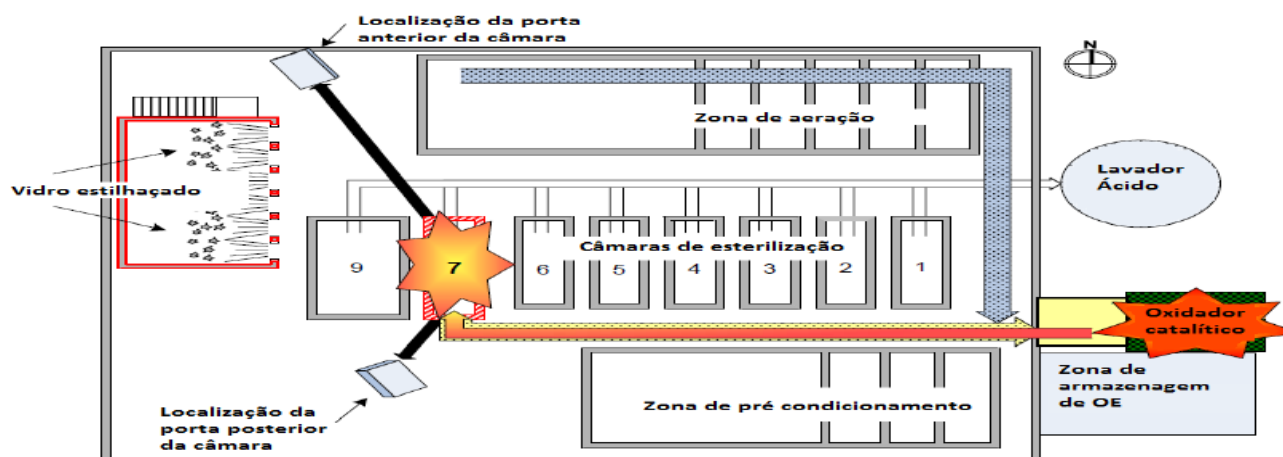
Segundo mostra o relatório do CSB (2009) a equipe de manutenção chegou à instalação na manhã do dia seguinte e prontamente executou uma série de testes no equipamento. Todavia, como novamente não foi encontrado problema algum, os técnicos decidiram devolver a câmara para sua operação normal, o que exigia a realização de um ciclo de calibração do equipamento no qual 125 quilos de OE seriam utilizados. Como durante este processo a câmara estava vazia, os técnicos acreditavam que a remoção inicial de OE havia reduzido a concentração do produto para níveis seguros, e dessa forma, a lavagem com gás N<sub>2</sub> era desnecessária. Dessa forma, ansiosos para recolocar a câmara de volta em operação, os técnicos



solicitaram ao supervisor que fosse pulada a etapa de lavagem gasosa, de forma a avançar para as etapas finais do ciclo.

O supervisor concordou com o pedido do técnico, que inserindo a senha no sistema de controle, efetivamente pulando a etapa da lavagem gasosa. Minutos mais tarde, a porta da câmara foi aberta conforme o procedimento, acionando automaticamente a ventilação traseira que acabou por transportar cerca de 22 kg do OE para o oxidador (CSB, 2009). Alarmes soaram alertando sobre a perigosa concentração de OE, mas os funcionários não tiveram tempo de desativar o equipamento ou evacuar a instalação antes do OE atingir a chama aberta e entrar em ignição. A chama viajou pelos dutos de volta à câmara e inflamou o OE remanescente na câmara, resultando em uma poderosa explosão. O choque da explosão destruiu a câmara, arrancando suas massivas portas de aço e arremessando-as com grande força contra as paredes internas da instalação (figura 28).

**Figura 28. Explosão da câmara de esterilização 7 (Adaptado de CSB, 2006).**



Felizmente, no momento da explosão os trabalhadores estavam na sala de controle, que apesar de ter sido severamente danificada, impediu que houvesse ferimentos graves. A equipe sofreu escoriações e cortes leves causados pelos estilhaços do vidro das janelas da sala de controle, que por não ser reforçado não resistiu à força da explosão (CSB, 2009).

O Departamento de Bombeiros juntamente com a polícia assumiram o controle do local por volta das 15h, evacuando prontamente as empresas vizinhas em um raio de 400 metros. O acesso à instalação foi liberado 15 dias após o

acidente, somente após a confirmação de que os níveis de OE eram seguros e que o edifício não corria risco de desabamento.

#### **5.4. Considerações**

Analisando a cadeia de eventos descrita, identifica-se que falhas na implementação de 6 importantes elementos da abordagem RBPS levaram aos ao desastre: (i) Garantia de Treinamento de Competência; (ii) Conformidade com Padrões e Normas; (iii) Identificação de Perigos e Análise de Risco; (iv) Investigação de Acidentes.

##### **5.4.1. Falhas no elemento “Garantia de Treinamento de Competência”**

Os funcionários não possuíam um conhecimento pleno a respeito dos processos desempenhados pela empresa, e assim desconheciam o propósito de cada etapa do ciclo de esterilização. Esta deficiência no plano de treinamento da empresa possibilitou que a equipe de manutenção tomasse a decisão equivocada que deu início ao desastre. Deste modo, verifica-se que o programa de treinamento da Sterigenics não atendia aos três critérios da abordagem RBPS, e assim, não correspondia efetivamente às suas necessidades de segurança operacional.

De acordo com a metodologia RBPS, um programa de treinamento bem estruturado é a melhor ferramenta a disposição de uma organização para gerenciar o risco operacional, e conseqüentemente, é essencial que as organizações garantam o alinhamento entre os cenários e metas estabelecidos na avaliação de risco, com a sua rotina operacional e a elaboração do seu plano de treinamento.

##### **5.4.2. Falhas no elemento “Conformidade com Padrões e Normas”**

A investigação revelou que não houve avisos, por parte dos sistemas de segurança em vigor, que alertasse a respeito da concentração explosiva de óxido de etileno na câmara. Isto se deu porque a gerência da Sterigenics não seguiu as orientações da NFPA com relação ao manuseio de OE em câmaras de esterilização. O padrão NFPA 560/2002 já havia introduzido na época do acidente uma exigência que determinava a instalação de sensores que monitorassem a concentração de óxido de etileno sempre que fosse utilizado um oxidador catalítico como forma de tratamento de emissões. A ausência de tal medidor implica que a avaliação de risco da Sterigenics não estava a par das mais recentes normas de segurança referentes

as suas atividades, conforme preconiza o segundo elemento do primeiro pilar da metodologia RBPS.

#### **5.4.3. Falhas no elemento “Identificação de Perigos e Análise de Risco”**

O processo de HIRA conduzido pela Sterigenics falhou ao não contemplar a possibilidade de os trabalhadores usarem uma senha que lhes permitisse ignorar etapas essenciais do ciclo de esterilização. Como esta vulnerabilidade do processo não foi identificada, a adoção das medidas atenuantes adequadas não ocorreu de acordo com o previsto pelo segundo elemento do segundo pilar. Desta forma, a PHA realizada nas instalações de Ontario para identificar possíveis fontes de explosão não considerou o cenário em que uma alta concentração de OE porventura atingisse o oxidador catalítico e por conseguinte, não desenvolveu as ações de controle necessárias.

#### **5.4.4. Falhas no elemento “Investigação de Acidentes”**

Entre os anos de 1994 e 1999, foram registradas nos EUA cerca de dez explosões em instalações de esterilização com óxido de etileno, uma das quais inclusive pertencia a Sterigenics. Estes acidentes resultaram em vários feridos e até mesmo uma fatalidade (REZA & CHRISTIANSEN, 2013). De forma similar ao acidente na planta da Sterigenics em Ontario, a causa da maioria destes acidentes foi atribuída a presença dos oxidadores catalíticos, que ao serem inadvertidamente alimentados com altas concentrações de OE, causaram a ignição da mistura gasosa (NIOSH, 2000).

No entanto, apesar do histórico recente de acidentes envolvendo equipamentos similares aqueles usados em seus processos, a Sterigenics não aplicou as lições aprendidas com eles (como a instalação de sensores e painéis de ruptura na tubulação que conduz ao oxidador catalítico) em sua avaliação de risco conforme a metodologia RBPS e portanto não foi capaz de tratar as vulnerabilidades inerentes da tecnologia empregada em seus processos. A instalação de tais equipamentos de proteção teria diminuído significativamente o risco de uma explosão na câmara.

## 6. Conclusão

A indústria química é um dos setores mais importantes da economia mundial, faturando em 2018 cerca de 4.1 trilhões de dólares (OXFORD ECONOMICS, 2019). As tendências indicam que com o reaquecimento da economia mundial esse número deve crescer ainda mais nos próximos anos. Em outras palavras, espera-se uma expansão do setor, à medida que as companhias intensificam suas atividades na busca por maior produtividade e competitividade. Em contrapartida, é notória a crescente intolerância da sociedade com eventos que coloquem em risco o bem-estar da vida humana e do meio-ambiente que a cerca. A fim de alcançar essas duas expectativas crescentes, é imperativo que as empresas aloquem cada vez mais atenção e recursos a segurança e confiabilidade de suas operações.

À vista disso, o presente trabalho propôs-se a aferir a eficácia do Sistema de Gestão de Segurança de Processo Baseada em Risco (RBPS) proposto pelo AIChE/CCPS, quanto a sua capacidade identificar e prever situações de risco antes que um incidente grave ocorra. Essa análise foi alcançada pela demonstração da evolução histórica dos modelos de gestão de segurança de processos usados pela indústria até o RBPS. Em seguida explicou-se seus objetivos, elementos constituintes e diretrizes, de forma a avaliar como tais elementos, se implementados, poderiam ter impedido ou mitigado 3 acidentes industriais graves.

Assim sendo, estabeleceu-se que a implementação do RBPS incentiva a excelência operacional, na medida que facilita a integração entre as melhores práticas da indústria e os requisitos regulatórios vigentes. Mostrou-se também que através dos acidentes estudados que o RBPS, quando bem executado, é capaz de se adaptar e gerir operações seguras com diferentes graus de complexidade.

O desenvolvimento de um sistema de gestão de segurança de processos eficiente é fundamental para qualquer organização que deseje prosperar nos próximos anos sem perder o foco pelo bem-estar dos seres humanos e preservação do meio ambiente.

## Referências

ABDUL MAJID N. D., Mohd Shariff, A., & Mohamed Loqman, S. (2016); **Ensuring emergency planning & response meet the minimum Process Safety Management (PSM) standards requirements**. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 248–258.

AIChE/CCPS; **“Beacon: O que é “Segurança de Processo?”** (2008). Disponível em: <<http://sache.org/beacon/files/2008/07/pt/read/2008-07-Beacon-Portuguese-s.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2019.

AIChE/CCPS; **Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Wiley, 3 ed**, (2008).

AIChE/CCPS; **Guidelines for Risk Based Process Safety, Editora Wiley**, (2007).

Ali Reza, Erik Christiansen; **A Case Study of an Ethylene Oxide Explosion in a Sterilization Facility**. 2013. Disponível em: <<https://www.aidic.it/cet/13/31/078.pdf>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

ALVES; Camille Lelis; **Uma aplicação da técnica de análise de camadas de proteção (LOPA) na avaliação de riscos de incêndios nas rotas de cabos de desligamento de um reator nuclear**. 2007 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Nuclear, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

AMYOTTE, P.R., GORAYA, A.U., HENDERSHOT, D.C., KHAN, F.I., (2007); **Incorporation of inherent safety principles in process safety management**. *Process Saf. Prog.* 26 (4), 333e346.

ANAC; **Garantia da SEGURANÇA OPERACIONAL**, (2019B). Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/seguranca-operacional/biblioteca-safety/garantiadasegurancaoperacional.pdf>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

ANAC; **Guia para Elaboração do MANUAL DE GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA OPERACIONAL (MGSO)**, (2019E). Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/publicacoes/guia-para-elaboracao-do-manual-do-sistema-de-gerenciamento-da-seguranca-operacional-para-provedores-de-servicos-psac>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

ANAC; **Guia para GERENCIAMENTO DE RISCOS DA AVIAÇÃO**, (2019F). Disponível em: <[https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/gerenciamento-da-seguranca-operacional/Gerenciandoriscos\\_SGSONaprtica.pdf](https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/gerenciamento-da-seguranca-operacional/Gerenciandoriscos_SGSONaprtica.pdf)>. Acesso em: 25. Jan. 2020

ANAC; **Investigação interna de EVENTOS DE INTERESSE DA SEGURANÇA OPERACIONAL** (2019D). Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/certificacao/arquivos/guia-de-investigacao-interna-de-eventos-de-so.pdf>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

ANAC; **Política e objetivos de SEGURANÇA OPERACIONAL**, (2019A). Disponível em: <[https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/gerenciamento-da-seguranca-operacional/arquivos/Politica\\_e\\_Objetivos\\_de\\_Seguranca\\_Operacional1.pdf](https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/gerenciamento-da-seguranca-operacional/arquivos/Politica_e_Objetivos_de_Seguranca_Operacional1.pdf)>. Acesso em: 25. Jan. 2020

ANAC; **Promoção da SEGURANÇA OPERACIONAL**, (2019C). Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/seguranca-operacional/biblioteca-safety/promocaodasegurancaoperacional.pdf>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisão**, 2ª ed., LTC, Rio de Janeiro, 2000.

ANP; ANP nº 43/2007. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/images/Legislacao/Resolucoes/2007/res\\_anp\\_43\\_2007\\_anexol.pdf](http://www.anp.gov.br/images/Legislacao/Resolucoes/2007/res_anp_43_2007_anexol.pdf)>. Acesso em: 25. Jan. 2020

ANP; ANP nº 44/2009. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2009/dezembro&item=ranp-44--2009>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

API; **API Recommended Practice 75: Recommended Practice for Development of a Safety and Environmental Management Program for Offshore Operations and Facilities**, 3 ed. (2013).

AS/NZS; **AS/NZS 4360:2004: Risk Management**, 2004.

BAI, Y.; **Marine structural design**, (2003). Ed. Elsevier. ISBN: 0080535836

BESSERMAN, J., & MENTZER, R. A., (2017) **Review of global process safety regulations: United States, European Union, United Kingdom, China, India.** *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 50, 165–183.

BLOOMBERG; **Here's How Fast China's Economy Is Catching Up to the U.S.**, (2019). Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/graphics/2016-us-vs-china-economy/>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

BRIFGES, W.; **Human Factors Elements Missing from Process Safety Management (PSM)**, (2010). Disponível em: <[https://process-improvement-institute.com/downloads/Human Factors Elements Missing from PSM.pdf](https://process-improvement-institute.com/downloads/Human_Factors_Elements_Missing_from_PSM.pdf)>.

Acesso em: 25. Jan. 2020

CASA (Civil Aviation Safety Authority); **SMS for Aviation – A Practical Guide – Safety Policy and objectives**, 2004

CCOHS; **Combustible Dust**, (2015). Disponível em: <[https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/combustible\\_dust.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/combustible_dust.html)>. Acesso em 10 out. 2019

Cefic; **Chemical Industry Contributes \$5.7 Trillion To Global GDP And Supports 120 Million Jobs**, (2019). Disponível em: <<https://cefic.org/media-corner/newsroom/chemical-industry-contributes-5-7-trillion-to-global-gdp-and-supports-120-million-jobs-new-report-shows/>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

CEPRAM N° 4.578/2017. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/BRUNOLAGO21/resolucao-cepram-n-4578-de-29-de-setembro-de-2017>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

CETESB; Norma Técnica P4.261, 2 ed. (2011). Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/P4261-revisada.pdf>>. Acesso em 10 set. 2018.

CGU; **Instrução Normativa MP/CGU 01/2016**, (2016). Disponível em: <[https://www.cgu.gov.br/sobre/legislacao/arquivos/instrucoes-normativas/in\\_cgu\\_mpog\\_01\\_2016.pdf](https://www.cgu.gov.br/sobre/legislacao/arquivos/instrucoes-normativas/in_cgu_mpog_01_2016.pdf)>. Acesso em: 25. Jan. 2020

CSB; INVESTIGATION REPORT: **Organic Peroxide Decomposition, Release, and Fire at Arkema Crosby Following Hurricane Harvey Flooding**, (2017).

Disponível em: <<https://www.csb.gov/arkema-inc-chemical-plant-fire-/>>. Acesso em 10 jul. 2018.

CSB; **INVESTIGATION REPORT: STERIGENICS**, (2004). Disponível em: <<https://www.csb.gov/sterigenics-ethylene-oxide-explosion/>>. Acesso em 10 jul. 2018.

CSB; **INVESTIGATION REPORT: SUGAR DUST EXPLOSION AND FIRE**, (2009). Disponível em: <<https://www.csb.gov/imperial-sugar-company-dust-explosion-and-fire/>>. Acesso em 10 jul. 2018.

DASH, S. N; **Qualitative vs. Quantitative Risk Analysis**, (2015). Disponível em: <<https://www.mpug.com/articles/pmp-prep-qualitative-vs-quantitative-risk-analysis/>>. Acesso em 10 dez. 2019

ECKHOFF, R. K.; **Dust Explosions in the Process Industries**, Second Edition, (1997). ISBN: 978-0-7506-7602-1

ECKHOFF, R. K.; **Dust explosions: Fundamentals. Methods in Chemical Process Safety**, (2019). ISBN: 978-0-12-817550-7

EHS; **How Six Sigma Can Improve Your Safety Performance**, (2017). Disponível em: <<https://ehssafetynewsamerica.com/2017/04/18/how-six-sigma-can-improve-your-safety-performance-2/>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

ENIT; **Normas regulamentadoras**, (2019). Disponível em: <<https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-menu/sst-normatizacao/sst-nr-portugues?view=default>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

FAA; **Safety Management System Manual**, (2015). Disponível em: <[https://www.faa.gov/air\\_traffic/publications/media/ATO-SMS-Manual.pdf](https://www.faa.gov/air_traffic/publications/media/ATO-SMS-Manual.pdf)>. Acesso em: 25. Jan. 2020

FILHO, G. V.; **Gestão da Qualidade Total: uma abordagem prática**, (2014). Ed. Alínia.



FINKIEL; **Ethylene Oxide Sterilization**, (2013). Disponível em: <<https://tuttnauer.com/blog/eto-low-temperature-sterilization>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

Food Processing Magazine; **Sugar dust explosion risks**, (2009). Disponível em: <<https://www.foodprocessing.com.au/content/training-education/article/sugar-dust-explosion-risks-999902892>>. Acesso em 10 out. 2019

GRAZIANO, Kazuko Uchikawa; SILVA, Arlete; BIANCHI, Estela Regina Ferraz. **Limpeza, desinfecção, esterilização de artigos e antissepsia**. In: *Infecção hospitalar e suas interfaces na área da saúde* [S.l: s.n.], 2000.

HE, P., PAN, Y., & JIANG, J. (2018). **Prediction of the self-accelerating decomposition temperature of organic peroxides based on support vector machine**. *Procedia Engineering*, 211, 215–225.

HSE; **Principles and guidelines to assist HSE in its judgements that duty**, (2001). Disponível em: <<https://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarp1.htm>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

HSE; **Review of the Public Perception of Risk, and Stakeholder Engagement**, 2005. Disponível em: <[https://www.hse.gov.uk/research/hsl\\_pdf/2005/hsl0516.pdf](https://www.hse.gov.uk/research/hsl_pdf/2005/hsl0516.pdf)>. Acesso em: 25. Jan. 2020

ICAO; **Safety Reports**, 2018. Disponível em: <<https://www.icao.int/safety/Pages/Safety-Report.aspx>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

ISO, ISO 31000: Gestão de riscos – Princípios e diretrizes, 1 ed., 2009.

JONES, T. B. (1999). **Electrostatics and Dust Explosions in Powder Handling. Fluidization, Solids Handling, and Processing**, 817–871.

KIDAM, K., & HURME, M. (2013). **Analysis of equipment failures as contributors to chemical process accidents. Process Safety and Environmental Protection**, 91(1-2), 61–78.

KLEIN, J. A., & VAUGHEN, B. K. (2008). **A revised program for operational discipline. Process Safety Progress**, 27, 58e65.

KLEIN, J. A., BRADSHAW, W. M., VANDEN HEUVEL, L. N., LORENZO, D. K., & KEEPORTS, G. (2011). **Implementing an effective conduct of operations and operational discipline program.** *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(1), 98–104.

KLETZ, T. (2001). **An engineer's view of human error (3rd ed.).** Rugby, UK: IChemE. ISBN: 978-0852955321

LIN, P. T., LI, B., & BU, D. (2015). ***The relationship between corporate governance and community engagement: Evidence from the Australian mining companies.*** *Resources Policy*, 43, 28–39.

LOWNDES, V., PRATCHETT, L., STOKER, G., (2001); **Trends in public participation: part1 – local government perspectives.** *PublicAdm.*79(1),205–222.

MARLIN, T.; **Safety: Layer of Protection**, (2013). Disponível em: <<https://slideplayer.com/slide/6288575/>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

Milestone Consulting International; **PROJECT RISK MODELLING & ANALYSIS** (2012). Disponível em: <<https://www.milestoneintl.com/risk-management.php>>. Acesso em 05 dez. 2019

MISURI, A., CASSON MORENO, V., QUDDUS, N., & COZZANI, V. (2019). **Lessons learnt from the impact of hurricane Harvey on the chemical and process industry.** *Reliability Engineering & System Safety*, 190, 106521.

MOERMAN, F., & MAGER, K. (2016). ***Cleaning and Disinfection in Dry Food Processing Facilities.*** *Handbook of Hygiene Control in the Food Industry*, 521–554

NASA; **Dust to Dust: Imperial Sugar Company Dust Explosion**, (2011). Disponível em: <[https://sma.nasa.gov/docs/default-source/safety-messages/safetymessage-2011-02-07-imperialsugarcompanydustexplosion-vits.pdf?sfvrsn=7eae1ef8\\_4](https://sma.nasa.gov/docs/default-source/safety-messages/safetymessage-2011-02-07-imperialsugarcompanydustexplosion-vits.pdf?sfvrsn=7eae1ef8_4)>.

Acesso em: 25. Jan. 2020

National Cancer Institute; **Ethylene Oxide**, (2018). Disponível em: <[https://livrepository.liverpool.ac.uk/3009336/1/200982062\\_Aug2017.pdf](https://livrepository.liverpool.ac.uk/3009336/1/200982062_Aug2017.pdf)>. Acesso em 20 set. 2019

*New York Daily News*; **Bodies recovered in Georgia sugar refinery explosion**, (2008). Disponível em: <<https://www.nydailynews.com/news/world/bodies-recovered-georgia-sugar-refinery-explosion-article-1.308071>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

NHC; **NATIONAL HURRICANE CENTER TROPICAL CYCLONE REPORT**, (2017). Disponível em <[https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL092017\\_Harvey.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL092017_Harvey.pdf)>. Acesso em: 25. Jan. 2020

NOLAN, D.; ***Safety and Security Review for the Process Industries***, (2008). ISBN: 9780815515463

OLIVE, C., O'CONNOR, T. M., & MANNAN, M. S. (2006). ***Relationship of safety culture and process safety***. *Journal of Hazardous Materials*, 130(1-2), 133–140.

OSHA, **OSHA 3132: Process Safety Management**, (2000). Disponível em: <<https://www.osha.gov/Publications/osha3132.pdf>>. Acesso em 10 out. 2019.

OSHA, **OSHA 3674: Precautions for Firefighters to Prevent Dust Explosions**, (2013). Disponível em: <[https://www.osha.gov/Publications/OSHA\\_3674.pdf](https://www.osha.gov/Publications/OSHA_3674.pdf)>. Acesso em: 25. Jan. 2020

OSHA; **OSHA 1994: Process Safety Management Guidelines for Compliance**, (1994). Disponível em: <<https://www.osha.gov/Publications/osha3133.html>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

OSHA; **OSHA 379: Hazard Alert: Combustible Dust Explosions**, (2015). Disponível em: <<https://www.osha.gov/Publications/osha3791.pdf>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

Owler; **Sterigenics's Competitors, Revenue, Number of Employees, Funding and Acquisitions** (2020). Disponível em: <<https://www.owler.com/company/sterigenics>>. Acesso em 20 set. 2019

Oxford Economics; **The Global Chemical Industry: Catalyzing Growth and Addressing Our World's Sustainability Challenges**, (2019). Disponível em: <[https://www.icca-chem.org/wp-content/uploads/2019/03/ICCA\\_EconomicAnalysis\\_Report\\_030819.pdf](https://www.icca-chem.org/wp-content/uploads/2019/03/ICCA_EconomicAnalysis_Report_030819.pdf)>. Acesso em: 25. Jan. 2020

PMKB; **Reservas e proteções contra riscos – Parte 03**, (2015). Disponível em: <<https://pmkb.com.br/artigos/reservas-e-protecoes-contra-riscos-parte-03/>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

Portaria N° 3.214, (1978). Disponível em: <[https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra;jsessionid=9CFA236F73433A3AA30822052EF011F8.proposicoesWebExterno1?codteor=309173&filename=LegislacaoCitada+-INC+5298/2005](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=9CFA236F73433A3AA30822052EF011F8.proposicoesWebExterno1?codteor=309173&filename=LegislacaoCitada+-INC+5298/2005)>. Acesso em: 25. Jan. 2020

Powerprocess; **Dust explosion concentration (2020)**. Disponível em: <[https://powderprocess.net/Safety/Dust\\_Explosion\\_Concentration.html](https://powderprocess.net/Safety/Dust_Explosion_Concentration.html)>. Acesso em 10 out. 2019

QIN, R., KHAKZAD, N., & ZHU, J. (2020). ***An overview of the impact of Hurricane Harvey on chemical and process facilities in Texas. International Journal of Disaster Risk Reduction***, 45, 101453.

REASON; **Managing the risks of organizational accidents**, (1997) - ISBN 13: 978 184014 1054

RMP Consultancy; **Business Process Improvement and PDCA**, (2013). Disponível em: <<https://rmpconsultancy.com/home/business-process-improvement-and-pdca/>>. Acesso em 25 jan. 2020

Robovent; **“What is a dust explosion?”**, (2020). Disponível em: <<https://www.robovent.com/frequently-asked-questions/what-is-a-dust-explosion/>>. Acesso em 10 out. 2019

SALZANO, E; **Confined Gas and Dust Explosions, Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering** (2014). ISBN: 978-0-12-409547-2

Scientific Gems; ***Kitchen chemistry: aerosols and explosions***, (2014). Disponível em: <<https://scientificgems.wordpress.com/tag/flour/>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

SEPEDA, A. L. (2006). ***Lessons learned from process incident databases and the process safety incident database (PSID) approach sponsored by the Center for Chemical Process Safety***. *Journal of Hazardous Materials*, 130(1-2), 9–14.

SINELNIKOV, S., INOUE, J., & KERPER, S. (2015). ***Using leading indicators to measure occupational health and safety performance***. *Safety Science*, 72, 240–248.

STERIS; ***Ethylene Oxide Processing***, (2019). Disponível em: <<https://www.steris-aest.com/services/ethylene-oxide-sterilization/>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

SUMMERS, A.E., (2003); ***Introduction to layers of protection analysis***, *Journal of Hazardous Materials*, v. 104, pp. 163-168

SUTTON, I.; (2009). ***Should Your Organization Fly Warning Flags?***, *Chemical Engineering Progress*, 105(12)

SWAPAN BASU; ***Plant Hazard Analysis and Safety Instrumentation Systems***, (2017). ISBN: 978-0-12-803763-8

The Society of the Plastics Industry; ***SAFETY AND HANDLING OF ORGANIC PEROXIDES***, (2018). Disponível em: <<https://www.plasticsindustry.org/sites/default/files/Safety%20and%20Handling%20of%20Organic%20Peroxides%20-%20August%202018.pdf>>. Acesso em: 25. Jan. 2020

TRENBERTH, K. E., CHENG, L., JACOBS, P., ZHANG, Y., & FASULLO, J. (2018). ***Hurricane Harvey Links to Ocean Heat Content and Climate Change Adaptation***. *Earth's Future*, 6(5), 730–744.

USCB; ***Inferno: Dust Explosion at Imperial Sugar***, (2010). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=fl-jlNqpCQ8>>. Acesso em 10 out. 2019

WANG, H., YUAN, S., ZHAN, J., WANG, Y., YU, G., DENG, S., WANG, B. (2015). ***Mechanisms of enhanced total organic carbon elimination from oxalic acid solutions by electro-peroxone process.*** *Water Research*, 80, 20–29.

ZUCKERMAN, B. & JEFFERSON, D.; (1996). **Human Population and the Environmental Crisis.** Jones & Bartlett Learning. p. 42. ISBN 9780867209662.